

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-044180

(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
C23F 4/00

(21)Application number : 11-219348

(71)Applicant : SHARP CORP
MORI YUZO

(22)Date of filing : 02.08.1999

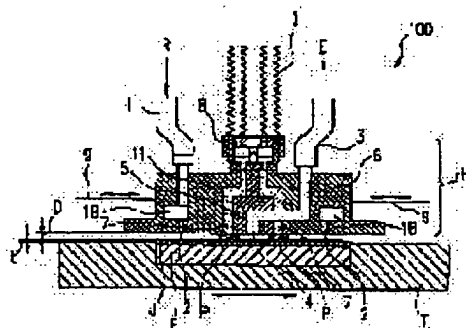
(72)Inventor : EHATA YUSUKE
OKUDA TORU
MORI YUZO

(54) ULTRA PRECISE PROCESSING METHOD BY PLASMA AND DEVICE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ultra precise processing method using plasma which can process the surface of a work with high efficiency.

SOLUTION: A precise processing method, which processes a work arranged in a first reactive gas atmosphere using plasma, includes the first step of forming a wall face opposed to a work J so that a passage of low inductance for reactive gas is constituted and supplying the reactive gas to the passage of low conductance and making a second reactive gas atmosphere partially in this passage of low conductance, a second step causing a plasma P to be generated in a second reactive atmosphere, a third step of producing active seeds by activating the reactive gas in the second reactive gas atmosphere by the plasma P, and a fourth step of producing reactive products by causing chemical reaction of the active seeds and the work on each other and processing the work J by gasifying the reactive products.



Partial English Translation of Japanese Patent Laying-Open No. 2001-044180

[0125]

Fig. 2 is a sectional view showing an electrode floating type high-voltage floating electrode H1. Reference symbol 1 designates a high-pressure reaction gas supply path for transporting high-pressure reaction gas from a high-pressure reaction gas supply apparatus R to electrode floating type high-voltage floating electrode H1. Reference symbol 2 designates a high-pressure reaction gas supply port provided on electrode floating type high-voltage floating electrode H1 at a position opposed to a work J, to eject the high-pressure reaction gas transported from high-pressure reaction gas supply apparatus R.

[0126]

Reference symbol 1B designates a buffer part to prevent the pressure of the reaction gas supplied from high-pressure reaction gas supply port 2 from being distributed by high-pressure reaction gas supply port 2, and buffer parts 1B in the drawing are connected to each other.

[0127]

Reference symbol 3 designates a reaction product exhaust path connecting a reaction gas exhaust port 4 and an exhaust apparatus E, and reference symbol 4 is a reaction gas exhaust port connected to exhaust apparatus E to exhaust a reaction product generated by the reaction in a local region plasma P.

[0128]

Reference symbol 5 designates an inner electrode of electrode floating type high-voltage floating electrode H1. Reference symbol 6 designates an outer electrode of electrode floating type high-voltage floating electrode H1. Reference symbol 11 designates an insulator insulating between inner electrode 5 and outer electrode 6. Reference symbol 7 designates a power transmission line open end formed by inner electrode 5, outer electrode 6, and insulator 11. Reference symbol 8 designates a

connector connecting electrode floating type high-voltage floating electrode H1 to a flexible power transmission line I.

[0129]

Reference symbol 9 designates a scanning wire or a belt connecting electrode floating type high-voltage floating electrode H1 to a driving motor 10 (Fig. 1), and when driving motor 10 is rotated therethrough, electrode floating type high-voltage floating electrode H1 is moved relatively to work J. Scanning wire or belt 9 and driving motor 10 are collectively referred to as a high-voltage floating electrode scanning apparatus U (Fig. 1).

[0130]

Fig. 3 is a lower perspective view showing a part of electrode floating type high-voltage floating electrode H1 opposed to the work. There is shown that the electrode shape of electrode floating type high-voltage floating electrode H1 is a disk shape having reaction product exhaust port 4 in a center thereof, the shape of high-pressure reaction gas supply port 2 is of a fine hole as shown in Fig. 3, power transmission line open end 7 having many fine holes on the same circumference to generate local region plasma P is in a circumferential shape having reaction product exhaust port 4 in the center, and power transmission line open end 7 is provided so as to be sufficiently apart from high-pressure reaction gas supply port 2 toward reaction gas exhaust port 4.

[0133]

With reference to Figs. 2 and 1, the power generated from power source G is transmitted to high-voltage floating electrode H1 through power transmission line K, boasting and matching apparatus M, and flexible power transmission line I, is transmitted to power transmission line open end 7 as the part of high-voltage floating electrode H1 opposed to work J and provided apart from high-pressure reaction gas supply port 2, through the power transmission line including inner electrode 5, outer electrode 6 and insulator 11, generates a high electric field, generates local region high-

pressure plasma P in a high-pressure reaction gas atmosphere at the position of power transmission line open end 7, that is, in a small distance D between high-voltage floating electrode H1 and work J, and at the part apart from high-pressure reaction gas supply port 2, decompose and activates the high-pressure reaction gas in local region high-pressure plasma P, chemically reacts generated active seeds with work J, and evaporates a generated compound, whereby work J is treated just under local region high-pressure plasma P.

[0134]

The reaction product generated by the above chemical reaction is immediately exhausted by exhaust apparatus E from reaction product exhaust port 4 through reaction product exhaust path 3. The reaction product moved to the gas atmosphere in reaction chamber C is similarly removed by exhausting whole reaction chamber C by exhaust apparatus E.

[0159]

Power transmission line open end 7 indicates an end part of power transmission line K through which a DC or AC voltage is transmitted from power source G, flexible power transmission line I, and power transmission line in the electrode in which inner electrode 5 and outer electrode 6 are finally insulated by insulator 11 at work opposed part 12 of high-voltage floating electrode H1 according to the embodiment shown in Fig. 2. As shown in Fig 6, a high voltage, accordingly an intense electric field is generated between inner electrode 5 and outer electrode 6, plasma can be generated between inner electrode 5 and outer electrode 6 regardless of the existence of work J, and the plasma can be prevented from being distributed to a place other than between outer electrode 6 and inner electrode 5, that is, local region high-pressure plasma P can be generated.

[0160]

Since power transmission line open end 7 is formed at work opposed part 12 of high-voltage floating electrode H1, local region plasma P is generated in the high-

pressure reaction gas atmosphere between high-voltage floating electrode H1 and work J.

[0161]

As described above, according to Embodiment 1, inner electrode 5 serves as a cathode electrode and outer electrode 6 serves as an anode electrode, and plasma P can be generated between inner electrode 5 and outer electrode 6 regardless of the existence of work J, so that the equivalent circuit of power transmission line K is not changed at the time of electrode scanning. As a result, plasma is stabilized and the shape of the finish surface of the work can be provided with high accuracy.

[0203]

Furthermore, like ultraprecision processing device 100A shown in Fig. 9, a corrosion-resisting and high-hardness insulating material that is difficult to form a film can be used as work opposed part 12 by mounting high-precision flattened corrosion-resisting and high-hardness insulator 18 such as high-purity aluminum or silicon nitride, on the whole of work opposed part 12.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-44180

(P2001-44180A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 L 21/3065		H 0 1 L 21/302	L 4 K 0 5 7
C 2 3 F 4/00		C 2 3 F 4/00	A 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願平11-219348

(22) 出願日 平成11年8月2日 (1999.8.2)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(71) 出願人 000191593

森 勇蔵

大阪府交野市私市8丁目16番19号

(72) 発明者 江畑 裕介

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74) 代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

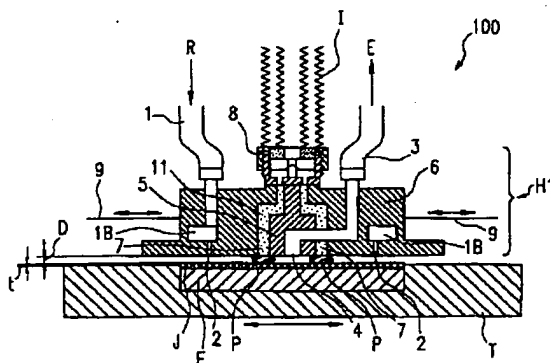
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマによる超精密加工方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 被加工物表面を高能率に加工することができるプラズマによる超精密加工方法及びその装置を提供する。

【解決手段】 第1の反応ガス雰囲気中に配された被加工物をプラズマを用いて加工する精密加工方法は、反応ガスの低コンダクタンスな流路が構成されるように、被加工物Jに対向する壁面が形成され、反応ガスを低コンダクタンスな流路へ供給して、第2の反応ガス雰囲気を前記低コンダクタンスな流路に局部的に形成する第1ステップと、第2の反応ガス雰囲気中でプラズマPを発生させる第2ステップと、プラズマPにより第2の反応ガス雰囲気中の反応ガスを活性化して活性種を生成する第3ステップと、活性種と被加工物とを化学反応させて反応生成物を生成し、反応生成物を気化させて被加工物Jを加工する第4ステップとを包含する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の反応ガス雰囲気中に配された被加工物をプラズマを用いて加工する精密加工方法であつて、

反応ガスの低コンダクタンスな流路が構成されるように、前記被加工物に対向する壁面が形成され、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給して、第 2 の反応ガス雰囲気を前記低コンダクタンスな流路に局所的に形成する第 1 ステップと、前記第 2 の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させる第 2 ステップと、前記プラズマにより前記第 2 の反応ガス雰囲気中の前記反応ガスを活性化して活性種を生成する第 3 ステップと、前記活性種と前記被加工物とを化学反応させて反応生成物を生成し、前記反応生成物を気化させて前記被加工物を加工する第 4 ステップとを包含するプラズマによる精密加工方法。

【請求項 2】 前記第 2 の反応ガス雰囲気中で発生した前記プラズマ部の全ての圧力が、前記第 1 の反応ガス雰囲気中の圧力よりも大きい、請求項 1 記載のプラズマによる精密加工方法。

【請求項 3】 前記第 1 の反応ガス雰囲気中の圧力は、少なくとも 1 気圧以下である、請求項 2 記載のプラズマによる精密加工方法。

【請求項 4】 前記壁面は、前記被加工物を加工する加工用電極に形成され、前記第 2 ステップは、前記加工用電極に電力を印加するステップを含む、請求項 1 記載のプラズマによる精密加工方法。

【請求項 5】 前記電力は、周波数 10 MHz 以上 1 GHz 以下の高周波電力を含む、請求項 4 記載のプラズマによる精密加工方法。

【請求項 6】 前記電力は、周波数 1 GHz 以上のマイクロ波電力を含む、請求項 4 記載のプラズマによる精密加工方法。

【請求項 7】 第 1 の反応ガス雰囲気中に配された被加工物をプラズマを用いて加工する精密加工装置であつて、

前記プラズマを発生するプラズマ発生手段を備え、前記プラズマ発生手段には反応ガスの低コンダクタンスな流路が構成されるように、前記被加工物に対向する壁面が形成され、前記反応ガスは前記低コンダクタンスな流路へ供給され、前記第 1 の反応ガス雰囲気中の第 1 圧力よりも大きい第 2 圧力を有する第 2 の反応ガス雰囲気を前記低コンダクタンスな流路に局所的に形成し、前記プラズマ発生手段は前記第 2 の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させ、前記プラズマは前記第 2 の反応ガス雰囲気中の前記反応ガスを活性化して活性種を生成し、前記活性種と

2

前記被加工物とが化学反応して反応生成物を生成し、前記反応生成物を気化させるように前記被加工物を加工し、

前記プラズマ発生手段は、前記第 2 の反応ガス雰囲気中で発生した前記プラズマ部の全ての圧力が、前記第 1 の反応ガス雰囲気中の圧力よりも大きい精密加工装置。

【請求項 8】 前記プラズマ発生手段は、前記被加工物と対向して設けられる加工用電極と、前記加工用電極に電力を印加する電源とを含み、

前記加工用電極は、前記電源から印加される電力により前記第 2 の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させる、請求項 7 記載の精密加工装置。

【請求項 9】 前記加工用電極は、前記被加工物に対応する形状を有し、

前記加工用電極には、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給する反応ガス供給口が形成される、請求項 8 記載の精密加工装置。

【請求項 10】 前記被加工物は、被加工物固定手段に固定され、

前記被加工物固定手段は、被加工物固定用試料台を含み、

前記被加工物固定用試料台には、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給する反応ガス供給口が形成され、

前記被加工物固定用試料台は、前記被加工物に対応する形状を有する、請求項 8 記載の精密加工装置。

【請求項 11】 前記加工用電極は、前記被加工物に対して微小間隔をおいて設置する事により前記低コンダクタンスな流路を形成する、請求項 8 記載のプラズマによる精密加工装置。

【請求項 12】 前記第 1 圧力と前記第 2 圧力との差圧は、前記加工用電極を前記被加工物に対して、若しくは前記被加工物を前記加工用電極に対して微小間隔をおいて浮上させる、請求項 8 記載の精密加工装置。

【請求項 13】 前記加工用電極と被加工物固定用試料台との少なくとも一方は更に、磁力を発生する磁力発生機構を有し、

前記磁力発生機構が発生する前記磁力は、前記加工用電極を前記被加工物に対して、若しくは前記被加工物を前記加工用電極に対して微小間隔をおいて浮上させる、請求項 8 記載の精密加工装置。

【請求項 14】 前記加工用電極は、前記電源から前記電力が印加される電力伝送線を有し、前記電力伝送線は、前記被加工物と対向する位置に設けられる電力伝送線開放端を有し、

前記加工用電極に印加された前記電力は、前記電力伝送線開放端まで伝送され、前記電力伝送線開放端において高電界を発生させる事により前記プラズマを発生させる、請求項 8 記載の精密加工装置。

【請求項 15】 前記電力伝送線は、前記電源から印

加される前記電力を前記電力伝送線路開放端まで伝送する内側導体と、

アースに接続され前記内側導体を覆う電界遮蔽導体と、前記内側導体と前記電界遮蔽導体とを絶縁する絶縁体とによって構成される、請求項14記載の精密加工装置。

【請求項16】 前記加工用電極の前記電力伝送線路開放端は、好ましくない加工量分布が形成されないように前記反応ガス供給口から十分離れた位置に設けられる、請求項14記載の精密加工装置。

【請求項17】 前記電力伝送線路は、前記電力を前記電力伝送線路開放端まで伝送する導波管を含む、請求項14記載の精密加工装置。

【請求項18】 前記精密加工装置は、前記被加工物の表面全体が加工されるように、前記被加工物と前記加工用電極とを相対移動させる移動手段をさらに含む、請求項8記載の精密加工装置。

【請求項19】 前記加工用電極と前記被加工物固定用試料台との少なくともいずれか一方には更に、前記反応生成物を排気する反応ガス排気口を有し、

前記精密加工装置は、前記反応ガス排気口からの前記反応生成物を前記精密加工装置の外部に排気する排出処理機構をさらに備える、請求項8記載の精密加工装置。

【請求項20】 前記排出処理機構は、前記反応生成物を処理し、前記精密加工装置は、前記排出処理機構により処理された前記反応生成物を反応ガスとして前記低コンダクタンスな流路へ再供給する循環機構をさらに備える、請求項8記載の精密加工装置。

【請求項21】 前記被加工物の表面には、微小凸部が形成され、

前記被加工物表面形状に対して相似形状を含む形状を持つ前記加工用電極を前記被加工物に対向させ、

前記加工用電極-被加工物間の高圧力部から、前記電極周囲の前記第1の反応ガス雰囲気若しくは前記反応ガス排気口へ向かう被加工物表面に沿う流れ中において局所的なプラズマを発生させ、

該プラズマによって生じた前記反応ガスに基づく前記活性種が、前記被加工物表面に沿う流れにより前記被加工物表面の微小凸部を選択的に除去する事により前記表面を平滑化する、請求項8記載のプラズマによる精密加工装置。

【請求項22】 前記精密加工装置は、前記第1の反応ガス雰囲気を維持する反応容器をさらに備える、請求項8記載の精密加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプラズマによる超精密加工方法及びその装置に関し、特に半導体、液晶、各種デバイス多層構造における表面段差平坦化、平滑化、各種材料における平坦化、平滑化、および非平面形状材

料における平滑化を、ドライプロセスによって、レジスト等の表面保護膜を用いることなく、高速にかつ清浄雰囲気にて行うプラズマによる超精密加工方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイス用シリコンウエハ、ゲルマニウムウエハ表面に凹凸が存在すると、フォトリソグラフィ工程において焦点ずれをおこすため、高精度に平滑化、平坦化する必要がある。また更にX線用Siミラー、レーザー用タングステン、モリブデンミラー等の表面も高精度に平滑化、平坦化若しくは形状加工されていなければならない。このように各種機能性材料を高精度に平滑化、平坦化若しくは形状加工を行う技術は必須となっている。

【0003】従来、各種材料の平坦化、平滑化、または非平面形状材料の平滑化を行う加工法にはポリッシング加工が存在する。特に半導体、液晶、各種デバイスにおいて、多層配線、多層成膜により、形成された表面段差を高精度に平滑平坦化する加工法にはCMP加工等がすでに公知である。

【0004】さらに、ドライプロセスによって上記平滑平坦化を行う手法のうち、低圧力気体雰囲気中のプラズマを用いる手法には、エッチバック平坦化法が存在する。また高圧力気体雰囲気中のプラズマを用いる手法にはプラズマCVM法が存在する。

【0005】上記プラズマCVM法は特開平1-125829号公報、特開平4-246184号公報および特開平5-234942号公報に開示されている。その実施の形態の断面図は図22A及び図22Bであり、これを用いて説明する。

【0006】図22Aを参照して、超精密加工装置2200Aは、被加工物42と加工用電極41とを、被加工物材質によって決定される反応ガスの大気圧雰囲気中に配し、被加工物42と加工用電極41との間に高周波電力供給部43によって直流電圧若しくは高周波電圧を印加して、加工用電極41と被加工物42との間に、大気圧に起因する局所領域プラズマ49Aを発生させる。超精密加工装置2200Aは、局所領域プラズマ49Aの発生に伴う反応ガスに基づく中性ラジカルを発生させ、中性ラジカルを被加工物42と化学反応させ、被加工物42の原子を揮発性物質に変化させる事によって被加工物42の原子を除去する。

【0007】詳細には超精密加工装置2200Aでは、加工用電極41の被加工物対向部形状を電界が分散する平面41Aとなし、更には加工用電極41の内部に、反応ガス供給部45によって供給された反応ガスを含む雰囲気気体を形成し、更に反応ガスを含む雰囲気気体を噴出する加工面側に開口した多数のガス噴出口48Aを設け、ガス噴出口48Aより加工用電極41と被加工物42との間の局所領域プラズマ49Aに反応ガスを含む雰

囲気体を噴出させる事により、平坦化及び平滑化を行っている。ここで加工用電極41と被加工物42との間隔の調整を、加工用電極41若しくは被加工物42の一方を固定し、他方を被加工物走査試料台47に接続されたZステージを移動させることによって行い、あるいは反応ガス噴出口48Aから噴出する雰囲気気体の動圧によって加工用電極41を浮上させる事で実現している。

【0008】さらに加工用電極41は、反応ガス排出部46に接続された図示しない反応ガス排出口を持ち、反応ガス排出口より被加工物42と反応ガスとの化学反応によって生じた反応生成物の除去を行っている。

【0009】図22Bを参照して、従来技術の他の例を説明する。超精密加工装置200Bでは、図23Aにおける加工用電極41を、ガス供給路を有する外部電極52と、外部電極52の内部に絶縁して配した内部電極53とにより構成し、内部電極53と外部電極52との間に局所領域プラズマ49Bを発生させる。局所領域プラズマ49Bの発生に伴い、反応ガスに基づく中性ラジカルが発生し、中性ラジカルを図23Aと同様に、加工面側に開口した多数の反応ガス噴出口48Bより噴出させる事により、被加工物42の平坦化及び平滑化を行っている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記CMP加工、ポリッシング加工、エッチバック平坦化法においては以下のような問題点がある。

①ポリッシング加工は液中に混濁させた微粒子による微小な脆性破壊を利用したものであるため、被加工物表面に損傷を与え、また加工速度が遅い。

②CMP加工法も同様に、化学的作用を一部用いるとしても加工速度は遅い。

【0011】またCMP加工法は液中に微粒子を混濁させるウェットプロセスであるため、微粒子の除去、洗浄に多くの時間を費やし、洗浄後も表面に残留微粒子が付着するのでプロセスの歩留りが悪い。

③半導体デバイスの製造プロセスにおける上記ポリッシング加工、CMP加工の前後工程はプラズマを用いたドライプロセスである事が多い為、ポリッシング加工、CMP加工は、前後工程との整合性が悪い。

④ドライプロセスによって平坦化、平滑化を行うエッチバック平坦化法は、低圧力気体雰囲気中にプラズマを発生させる為、加工速度が遅い。また形成されたレジスト膜、及び加工後の表面に僅かに残存するレジスト膜の除去に多くの時間を費やすので、プロセスの生産性が悪い。

【0012】またプラズマCVM法については以下の問題点がある。

①中性ラジカルと被加工物との化学反応によって発生した反応生成物が、プラズマの外部に拡散した後、雰囲気気体中を長時間浮遊し、高圧力に起因する平均自由行程の

短さから互いに衝突を繰り返し、反応生成物の粒径、粒子数を増大させ、被加工物表面に再付着する事により加工特性が劣化する。反応生成物が反応容器内壁に付着する事により、プロセス自体の歩留まりが悪化する。

【0013】また被加工物によっては、反応容器内雰囲気圧力が反応生成物の蒸気圧以上の圧力になるので、反応生成物が気体状態にならず液体状態となり、反応生成物が被加工物表面及び反応容器内壁に付着する。

②また、反応容器内を大気圧近傍の高圧力に充填させる為、ガス漏洩時に反応容器外に漏洩するガスのモル数が多くなるので、精密加工装置の安全性が低下する。

③また被加工物を精密加工装置から搬出するときの反応ガスパージの際、反応ガス排気にかかる時間が長くなるので、加工速度は速いが、精密加工装置全体のスループットが低くなる。

④反応ガスに基づく中性ラジカルあるいは反応ガスを電極側に設けられた多数の反応ガス噴出口から噴出させ、被加工面に中性ラジカルの流れを衝突させる事になるので、噴出口直下では周囲より加工量が多くなり、加工量分布が発生し、形状精度が低下する。

⑤また、図22Aに示される方式においては、加工用電極41をカソード電極とし、被加工物42をアノード電極として局所領域プラズマ49Aを発生させる為、被加工物42の全体加工の際、加工用電極41の移動により電力供給路の等価回路が変化するので、加工量分布が発生し、被加工物の仕上げ面形状精度を悪化させる。

【0014】図22Bに示される方式においては、局所領域プラズマ49Bから出た活性種が、被加工物表面に到達する前に活性を失うので、高加工速度を達成できない。

【0015】以下上記プラズマCVMの問題点①④についてさらに詳細に説明する。(反応生成物の被加工物表面への付着による加工特性劣化の機構について)上記した反応生成物の被加工物表面への付着によるプロセス歩留り悪化、および加工特性劣化の機構について図22A、図22B及び図24に基づいて述べる。

【0016】特開平5-234942号公報に開示されたプラズマCVMの大気圧周辺雰囲気中に充填された反応容器中には、反応ガス分子以外に下記の反応生成物が存在する。

①上記被加工物との反応によって生じた揮発性分子や不揮発性分子

②上記不揮発性分子が凝縮した不揮発性物体

③炭化粉末物、金属粉末等と上記反応ガス分子、上記揮発性分子、及び不揮発性分子、上記不揮発性物体などが互いに付着・重合した雰囲気パーティクル(炭化粉末、金属粉末等自体も含む)

④プラズマ中の構成原子が複雑な形で化合して発生した、非常に不安定で反応性の高い高反応性分子
プラズマ中に発生した微小パーティクルは、即座に再分

解され、影響を及ぼさない事を述べる。

【0017】上記のような、プラズマ外部に放出された反応生成物は、互いに凝縮し若しく容易に雰囲気パーティクルと凝縮し、雰囲気パーティクルの粒径を増大させ、また粒径の大きい雰囲気パーティクルの粒子数を増大させる。即ち、プラズマCVMのような高圧力に充填した反応ガスにより上記雰囲気パーティクルの数、粒径を増大させる結果となる。

【0018】上記した大きい粒径の雰囲気パーティクルの及ぼす影響について以下に示す。

【0019】加工中、プラズマ雰囲気においても即座に全てが再分解されず、再分解されるまでの間、付着点の上記加工物の加工を阻害し、雰囲気パーティクル付着点と非付着点の加工速度の違いにより被加工物の仕上げ面粗さを悪化させる。

【0020】また加工後では、被加工物表面57に大粒径雰囲気パーティクル55が再付着した状態で、さらに成膜を行う場合、図24に示されるように成膜56が形成された後、大粒径雰囲気パーティクル55の付着点において、大粒径雰囲気パーティクル55上に膜58が成膜され、大粒径雰囲気パーティクル55の直下が成膜されず、その後のプロセスに悪影響を及ぼす。例えば成膜58が金属成膜であり、その後配線パターンニングを行う場合等は、大粒径雰囲気パーティクル55直下の非成膜部分において金属配線の断線等を生じる事等が考えられる。

【0021】ここで、上記プラズマCVMは上記反応容器内を大気圧雰囲気の高圧力に充填させる為、上記雰囲気パーティクルが、上記反応容器内を長時間浮遊し、その間、高圧雰囲気に起因する平均自由行程の短さから、上記高反応性分子と多数衝突、凝縮を繰り返し、雰囲気パーティクルの粒径を増大させ、また粒径の大きい雰囲気パーティクルの粒子数を増大させ、加工中及び加工後に被加工物両面に再付着する事により加工特性を低下させ、またプロセスの歩留まりを悪化させるものと考えられる。

【0022】この様な場合、上記反応容器内の雰囲気圧力を低下させ、上記雰囲気パーティクルの粒径及び粒子数の増大を抑制する事も考えられる。しかしその場合には、同時に上記プラズマ部の圧力も低下し、加工速度を低下させ、ひいてはプロセスのスループットを悪化させる事となる。これはプラズマCVM自体が原理的に反応容器内に高圧力反応ガス雰囲気を充填し、プラズマを発生させる事によって加工を行う加工法である事に起因する。

【0023】また更に金属材料、例えばタングステン、モリブデン等及びそれらを含む材料を加工する場合においては主たる反応生成物は WF_6 、 MoF_6 であり、その大気圧雰囲気における沸点は、それぞれ17.7℃と35.0℃であるため、反応生成物は気体でなく液体状態

になり、上記被加工物表面、上記反応容器内壁に付着し、更に歩留りを悪化させる。

(噴出口直下において加工を行う場合に発生する形状精度低下について) 加工後の被加工物表面に発生する研磨ピッチによる平坦度低下について図22A、図22Bおよび図23に基づいて述べる。

【0024】特開平5-234942号公報に開示されたプラズマCVMすなわち図22Aにおいては、反応ガス噴出口48Aより噴出した反応ガス噴出流50は、被加工物表面によって進行方向を被加工物表面に垂直な方向の流れから、被加工物表面に沿った方向の流れに変えられる為、反応ガス噴出流50は反応ガス噴出口48Aより被加工物42の表面に垂直に衝突し、反応ガス噴出口48Aの直下が反応ガス噴出口48Aの周辺より加工量が多くなり、図23に示されるような加工量分布54を示すのである。上記図22Bの様に、電極内部の局所領域プラズマ49Bにより反応ガスに基づく気体活性種を生成し、反応ガス噴出口48Bより被加工物42へ噴出させる場合においても同様の加工量分布を示す。

【0025】これは反応ガスに基づく気体活性種若しくは反応ガスを、電極側に設けられた多数の反応ガス噴出口48Aから噴出させ、被加工物42の表面に衝突させる事に起因し、図22A及び図22Bに示されるCVMにおいて、被加工物42の平坦化を行う際に、加工後の被加工物表面に発生する研磨ピッチによる平坦度低下を招くこととなる。

【0026】本発明の目的は、被加工物表面を高効率に加工することができるプラズマによる超精密加工方法及びその装置を提供する事にある。

【0027】本発明の他の目的は、反応生成物が凝縮し、被加工物の表面に再付着する事なく清浄に加工する事が出来、被加工物の表面の微小凸部を平滑化、平坦化するプラズマによる超精密加工方法及びその装置を提供する事にある。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明に係るプラズマによる精密加工方法は、第1の反応ガス雰囲気中に配された被加工物をプラズマを用いて加工する精密加工方法であって、反応ガスの低コンダクタンスな流路が構成されるように、前記被加工物に対向する壁面が形成され、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給して、第2の反応ガス雰囲気を前記低コンダクタンスな流路に局所的に形成する第1ステップと、前記第2の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させる第2ステップと、前記プラズマにより前記第2の反応ガス雰囲気中の前記反応ガスを活性化して活性種を生成する第3ステップと、前記活性種と前記被加工物とを化学反応させて反応生成物を生成し、前記反応生成物を気化させて前記被加工物を加工する第4ステップとを包含し、そのことにより上記目的が達成される。

【0029】前記第2の反応ガス雰囲気中で発生した前記プラズマ部の全ての圧力が、前記第1の反応ガス雰囲気中の圧力よりも大きくてもよい。

【0030】前記第1の反応ガス雰囲気中の圧力は、少なくとも1気圧以下であってもよい。

【0031】前記壁面は、前記被加工物を加工する加工用電極に形成され、前記第2ステップは、前記加工用電極に電力を印加するステップを含んでもよい。

【0032】前記電力は、周波数10MHz以上1GHz以下の高周波電力を含んでもよい。

【0033】前記電力は、周波数1GHz以上のマイクロ波電力を含んでもよい。

【0034】本発明に係る精密加工装置は、第1の反応ガス雰囲気中に配された被加工物をプラズマを用いて加工する精密加工装置であって、前記プラズマを発生するプラズマ発生手段を備え、前記プラズマ発生手段には反応ガスの低コンダクタンスな流路が構成されるように、前記被加工物に対向する壁面が形成され、前記反応ガスは前記低コンダクタンスな流路へ供給され、前記第1の反応ガス雰囲気中の第1圧力よりも大きい第2圧力を有する第2の反応ガス雰囲気を前記低コンダクタンスな流路に局部的に形成し、前記プラズマ発生手段は前記第2の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させ、前記プラズマは前記第2の反応ガス雰囲気中の前記反応ガスを活性化して活性種を生成し、前記活性種と前記被加工物とが化学反応して反応生成物を生成し、前記反応生成物を気化させるように前記被加工物を加工し、前記プラズマ発生手段は、前記第2の反応ガス雰囲気中で発生した前記プラズマ部の全ての圧力が、前記第1の反応ガス雰囲気中の圧力よりも大きく、そのことにより上記目的が達成される。

【0035】前記プラズマ発生手段は、前記被加工物と対向して設けられる加工用電極と、前記加工用電極に電力を印加する電源とを含み、前記加工用電極は、前記電源から印加される電力により前記第2の反応ガス雰囲気中で前記プラズマを発生させてもよい。

【0036】前記加工用電極は、前記被加工物に対応する形状を有し、前記加工用電極には、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給する反応ガス供給口が形成されてもよい。

【0037】前記被加工物は、被加工物固定手段に固定され、前記被加工物固定手段は、被加工物固定用試料台を含み、前記被加工物固定用試料台には、前記反応ガスを前記低コンダクタンスな流路へ供給する反応ガス供給口が形成され、前記被加工物固定用試料台は、前記被加工物に対応する形状を有してもよい。

【0038】前記加工用電極は、前記被加工物に対して微小間隔をおいて設置する事により前記低コンダクタンスな流路を形成してもよい。

【0039】前記第1圧力と前記第2圧力との差圧は、

前記加工用電極を前記被加工物に対して、若しくは前記被加工物を前記加工用電極に対して微小間隔をおいて浮上させてもよい。

【0040】前記加工用電極と被加工物固定用試料台との少なくとも一方は更に、磁力を発生する磁力発生機構を有し、前記磁力発生機構が発生する前記磁力は、前記加工用電極を前記被加工物に対して、若しくは前記被加工物を前記加工用電極に対して微小間隔をおいて浮上させてもよい。

10 【0041】前記加工用電極は、前記電源から前記電力が印加される電力伝送線路を有し、前記電力伝送線路は、前記被加工物と対向する位置に設けられる電力伝送線路開放端を有し、前記加工用電極に印加された前記電力は、前記電力伝送線路開放端まで伝送され、前記電力伝送線路開放端において高電界を発生させる事により前記プラズマを発生させてもよい。

【0042】前記電力伝送線路は、前記電源から印加される前記電力を前記電力伝送線路開放端まで伝送する内側導体と、アースに接続され前記内側導体を覆う電界遮蔽導体と、前記内側導体と前記電界遮蔽導体とを絶縁する絶縁体とによって構成されてもよい。

20 【0043】前記加工用電極の前記電力伝送線路開放端は、好ましくない加工量分布が形成されないように前記反応ガス供給口から十分離れた位置に設けられてもよい。

【0044】前記電力伝送線路は、前記電力を前記電力伝送線路開放端まで伝送する導波管を含んでもよい。

30 【0045】前記精密加工装置は、前記被加工物の表面全体が加工されるように、前記被加工物と前記加工用電極とを相対移動させる移動手段をさらに含んでもよい。

【0046】前記加工用電極と前記被加工物固定用試料台との少なくともいずれか一方には更に、前記反応生成物を排気する反応ガス排気口を有し、前記精密加工装置は、前記反応ガス排気口からの前記反応生成物を前記精密加工装置の外部に排気する排出処理機構をさらに備えてもよい。

40 【0047】前記排出処理機構は、前記反応生成物を処理し、前記精密加工装置は、前記排出処理機構により処理された前記反応生成物を反応ガスとして前記低コンダクタンスな流路へ再供給する循環機構をさらに備えてもよい。

【0048】前記被加工物の表面には、微小凸部が形成され、前記被加工物表面形状に対して相似形状を含む形状を持つ前記加工用電極を前記被加工物に対向させ、前記加工用電極—被加工物間の高圧力部から、前記電極周囲の前記第1の反応ガス雰囲気若しくは前記反応ガス排気口へ向かう被加工物表面に沿う流れ中において局所的なプラズマを発生させ、該プラズマによって生じた前記反応ガスに基づく前記活性種が、前記被加工物表面に沿う流れにより前記被加工物表面の微小凸部を選択的に除

去する事により前記表面を平滑化してもよい。

【0049】前記精密加工装置は、前記第1の反応ガス雰囲気を維持する反応容器をさらに備えてもよい。

【0050】本発明のある局面に従えば、局所的に形成した高圧反応ガス雰囲気中において、プラズマを発生させることにより被加工物を高速に加工する事が出来、同時に上記プラズマの発生する上記局所的に高圧力となった部分以外の領域が、上記高圧反応ガス雰囲気より低圧に維持される事により、被加工物周辺雰囲気における反応生成物の凝縮が少なく、被加工物を清浄に保つ事が出来る。

【0051】本発明の他の局面に従えば、上記被加工物を配した第1の反応ガス雰囲気の圧力に対して、上記低コンダクタンス流路部分に局所的に維持された第2の反応ガス雰囲気中のプラズマの発生する部分の全ての圧力が高く維持されている事により、プラズマ部において高密度活性種を発生し高加工速度を達成し、同時にプラズマ部より周辺雰囲気の圧力が低いことから、被加工物周辺雰囲気における反応生成物の凝縮を更に少なくし、被加工物表面を清浄に保つ事ができる。

【0052】本発明のさらに他の局面に従えば、プラズマの発生する上記局所的に高圧力となった第2の反応ガス雰囲気以外の領域を、圧力1気圧以下とする事により、反応ガス漏洩時、反応容器内の反応ガスが大気に拡散しにくく装置の安全性を高める事が出来る。

【0053】本発明のさらに他の局面に従えば、プラズマの発生する上記局所的に高圧力となった第2の反応ガス雰囲気以外の領域を、更に真空雰囲気とする事により、被加工物周辺雰囲気における反応生成物の粒径、及び数の絶対値を低くする事が出来、被加工物表面を更に清浄に保事が出来、同時に被加工物を大気雰囲気に搬出する時のパージの際、雰囲気が真空に保たれている為、反応ガスをその都度排気する必要が無く、装置のスループットを向上させる事が出来る。

【0054】本発明のさらに他の局面に従えば、被加工物に対応する形状を持ち、更に上記反応ガス供給口を少なくともいずれか一方に持つ加工用電極と被加工物固定用試料台において、上記加工用電極と被加工物とを微小間隔において設置する事により、上記加工用電極を、上記供給口から上記第1の反応ガス雰囲気への気体流路の低コンダクタンス部分を形成する上記壁面とし、高圧力の反応ガス雰囲気を局所的に形成することが出来、更に該加工用電極に電力を印加して、上記低コンダクタンスにより局所的に高圧反応ガス雰囲気となった上記加工用電極一被加工物間の微小間隔にプラズマを発生させ、被加工物を高速、且つ清浄に加工する事が出来る。

【0055】本発明のさらに他の局面に従えば、上記供給口より供給した高圧反応ガスの圧力によって局所的に形成された高圧力の反応ガス雰囲気と、上記第1の反応ガス雰囲気圧力との差圧により、上記加工用電極を上記

被加工物に対して、若しくは上記被加工物を上記加工用電極に対して、微小間隔において浮上させる事により、プラズマの熱による電極及び被加工物の変形、プラズマを発生させる電界、腐食性ガスの存在下において、上記低コンダクタンスな気体流路を安定して、広面積に形成する事が出来る。

【0056】本発明のさらに他の局面に従えば、さらに磁性体、若しくは磁力発生機構を加工電極、若しくは上記被加工物固定用試料台の少なくとも何れか一方に持ち、上記磁性体若しくは磁力発生機構により発生した磁力により上記加工用電極を上記被加工物に対して、若しくは上記被加工物を上記加工用電極に対して、微小間隔において浮上させる事により、上記低コンダクタンスな気体流路を安定して、広面積に形成する事が出来、更に上記反応ガス供給口から供給する反応ガスの圧力を低く設定でき、電極重量でなく、目的とする加工特性によって上記反応ガスの供給圧力を決定できる。

【0057】本発明のさらに他の局面に従えば、更に上記加工用電極内に電力伝達線路と、上記被加工物と対向する部分に上記電力伝達線路の開放端を設ける事により、上記電極に印加された電力を上記電力伝達線路開放端に伝送させ、上記開放端の近傍のみに局所的にプラズマを発生させる事が出来、また電力伝送線路がプラズマによって終端化されている事により、被加工物を全面加工するために上記電極と被加工物を相対的に移動させた場合においても電力投入機構部分の等価回路が変化せず、プラズマに対する影響が少なく、被加工物を高精度に加工する事が出来る。

【0058】本発明のさらに他の局面に従えば、局所プラズマを発生させる電力伝送線路開放端を上記電極の被加工物と対向する部分で、且つ上記反応ガス供給口より離れた位置に設ける事により、高圧反応ガスが上記被加工物表面に向かって噴出する上記供給口直下においてプラズマが発生せず、上記供給口直下における加工量分布の発生を防ぐ事が出来る。それにより被加工物の仕上げ面精度を向上させる事が出来る。

【0059】本発明のさらに他の局面に従えば、上記プラズマを発生させる電力をマイクロ波電力とする事により、上記電極と被加工物の微小間隔に発生したプラズマ中の荷電粒子を補足し、被加工物に与える損傷を更に低減させる事が出来る。また同時に微小間隔に保たれた上記電極一被加工物間にプラズマを発生させる事が出来る。

【0060】本発明のさらに他の局面に従えば、上記電極内の上記電力伝送線路を導波管とする事により、上記加工用電極の構成を簡略化でき、プラズマの熱による電極の変形による電極自体の破損を防止する事により装置の信頼性を向上させる事が出来ると共に、部品形状の簡略化により装置コストを低減させる事が出来る。

【0061】本発明のさらに他の局面に従えば、上記プ

13

ラズマと上記被加工物を相対的に移動させる事により、上記被加工物を所望の形状に加工する事が出来る。

【0062】本発明のさらに他の局面に従えば、上記電極若しくは上記被加工物固定試料台に、プラズマの発生する上記微小間隔に向かって開口する反応ガス排気口を設け、上記排気口よりプラズマにおいて発生した反応生成物を即座に排気する事によって、被加工物を更に清浄に加工する事が出来る。

【0063】本発明のさらに他の局面に従えば、上記被加工物に対して、上記被加工物と対向する部分の形状に少なくとも、被加工物表面に対して相似形状を含む形状をもつ上記加工用電極を用いて、上記加工用電極－被加工物間の微小間隔内の上記反応ガス供給口の高圧力部から、上記電極周囲の第1の反応ガス雰囲気若しくは上記反応ガス排気口へ向かう被加工物表面に沿う流れ中において、局所的なプラズマを発生させ、該プラズマによって生じた上記反応ガスに基づく上記活性種が、上記被加工物表面に沿う流れにより上記被加工物表面の微小凸部を選択的に除去する事により、上記被加工物表面を局所的に平滑化し、若しくは更に上記被加工物と上記加工用電極を相対移動させる事により上記被加工物全体を形状加工する事が出来る。

【0064】本発明のさらに他の局面に従えば、上記と同様の効果を有する加工装置を提供する事が出来る。

【0065】

【発明の実施の形態】（低コンダクタンスによる差圧発生理論）まず第一に、局所的に高圧気体を供給すると共に、該供給部から上記被加工物周辺の気体雰囲気への低コンダクタンスな気体流路が構成される様に上記被加工物と対向する壁面を配置し、これによって上記被加工物周辺の気体雰囲気よりも高圧力の気体雰囲気を上記低コンダクタンス流路部分に局所的に維持する方式について

14

図25A及び図25Bを用いて説明する。

【0066】図25Aは、円板H0による低コンダクタンスな気体流路の形成を示す概略図である。図25Bは、上記円板H0－被加工物J間に円筒座標軸を設定した図である。

【0067】図25A及び図25Bを参照して、被加工物Jの被加工面形状が平面である場合において、外半径R2、内半径R1、厚さT1の平面形状を持つ円板H0をギャップt0だけ離れて被加工物Jと対向させ、更に高圧気体供給路101によって半径R1の内径穴を通じて、圧力 p_s の高圧気体を局所的に供給し、高圧気体は更に円板H0と被加工物Jとの間に形成された気体流路を通じて圧力 p_0 の円板H0の周囲の気体雰囲気へ流れるものとする。

【0068】ここで、円板H0と被加工物Jとの間を流れる気体の重量流量 w 、及び圧力分布 p を図25Bを用いて求める。

【0069】図25Bに示される様に、被加工平面及び、円板H0に垂直で、且つ円板H0の中心を通る直線を z 軸とし、 z 軸が被加工平面と交わる点を原点Oとする。更に図25Bの様に、原点Oを通り、且つ被加工平面上にある直線を円筒座標系の r 軸、またそこから反時計周りに回転角 θ （図示せず）をとるものとする。

【0070】まず第一に円板H0と被加工物Jとの間を流れる気体の重量流量 w を求める。気体の重量流量 w は、粘性を考慮した気体の運動方程式であるNavier-Stokes方程式によって規定される流速を用いて求める事が出来、Navier-Stokes方程式を円筒座標系で示すと以下の式（1-1）のようになる。

【0071】

【数1】

Navier-Stokes 方程式

$$\left. \begin{aligned}
 & \rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} \right) \\
 &= \rho F_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right) \\
 & \rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} \right) \\
 &= \rho F_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right) \\
 & \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \\
 &= \rho F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)
 \end{aligned} \right\} \dots \text{式(1-1)}$$

【0072】ここで、円板H0と被加工物Jとの間を流れる気体の重量流量 w を求める時、以下の仮定を行なう。

(1) 円板H0と被加工物Jとの間の距離 t_0 は円板外半径 R_0 に比べて非常に小さい。

(2) 円板H0と被加工物Jとの間の流れは、発達した境界層流れである。

(3) z 軸方向に圧力分布はなく、従って z 軸方向の気体の速度を無視する。

(4) θ 方向にも圧力分布はなく、従って θ 方向の気体の速度も無視する。

(5) 圧力勾配の項に比べて、慣性力の項は小さい。

(6) 主なる粘性力は $\delta^2 v_r / \delta z^2$ のみで他は無視する。

【0073】以上の仮定を式(1-1)に当てはめると、以下のように簡略化される。

【0074】

【数2】

$$\frac{\delta p}{\delta r} = \mu \left(\frac{\delta^2 v_r}{\delta z^2} \right) \dots \text{式(1-2)}$$

20 * 【0075】但し、 p は r 方向の圧力分布

v_r は r 方向の流速分布

μ は、気体の粘性係数

である。壁面においては、気体の速度は壁面の速度に等しいとする事が出来、境界条件は、

【0076】

【数3】

$$\left\{ \begin{array}{l} z=0 \quad v_r=0 \\ z=t_0 \quad v_r=0 \end{array} \right. \dots \text{境界条件(1-3)}$$

30 【0077】圧力 p は z 方向に分布を持たないので、式(1-2)を境界条件(1-3)について解くと、

【0078】

【数4】

$$v_r = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta r} \right) (z_2 - t_0 z) \dots \text{式(1-4)}$$

【0079】従って、円板H0と被加工物Jとの間を流れる気体の重量流量 w は、

【0080】

* 40 【数5】

$$w = 2\pi r p \int_0^{t_0} v_r dz = -\frac{\pi}{6\mu} r t_0^3 \rho \left(\frac{\delta p}{\delta r} \right) \dots \text{式(1-5)}$$

【0081】但し、 ρ は気体の密度である。気体の状態方程式より、

【0082】

【数6】

$$\rho = \frac{pm}{R_0 T_0} \dots \text{式(1-6)}$$

【0083】但し、 m は気体の分子量

R_0 は気体定数

T_0 は絶対温度

である。式(1-6)を式(1-5)に代入すると、

【0084】

【数7】

17

18

$$w = -\frac{\pi}{6\mu} \frac{m}{R0T0} r_0^3 p \left(\frac{\delta p}{\delta r} \right) \quad \dots \text{式(1-7)}$$

【0085】ここで、 w は r によらず一定値をとらなければならない為、

*【0087】従って、

【0086】

【0088】

【数9】

【数8】

$$r p \left(\frac{\delta p}{\delta r} \right) = \text{const} = E0 \quad \begin{cases} r = R1 & p = ps \\ r = R2 & p = p0 \end{cases} \quad *10$$

$$p^2 = 2E0 \times \log[r] + F0$$

…式(1-8)

【0089】但し、 $E0$ 、 $F0$ は積分定数

※【0090】

である。境界条件を代入して、

※【数10】

$$p = \sqrt{\frac{(ps^2 - p0^2) \log[r] + p0^2 \log[R1] - ps^2 \log[R2]}{\log[R1] - \log[R2]}}$$

…式(1-9)

$$w = \frac{\pi}{12\mu} \frac{m}{R0T0} \frac{r0^3}{\log[R2/R1]} (ps^2 - p0^2)$$

…式(1-10)

【0091】従って、円板H0の下面に円板H0と被加工物Jとの間の気体圧力によって働く力は、上記式(1-9)を積分して、

★【0092】

【数11】

★

$$f1 = \int_{r=R1}^{r=R2} 2\pi r p dr$$

…式(1-11-1)

【0093】から求める事が出来る。また同時に、円板H0の上面には、周囲雰囲気気圧 $p0$ が働く為、円板H0には重力を除いて、

☆【0094】

【数12】

☆

$$f = f1 - \pi R2^2 p0$$

…式(1-11-2)

【0095】なる力 f が z 軸の正方向に働く事となる。

◆【0097】

【0096】また、式(1-10)より、

◆【数13】

$$\frac{w}{c} = (ps^2 - p0^2)$$

…式(1-12)

$$c = \frac{\pi}{12\mu} \frac{m}{R0T0} \frac{r0^3}{\log[R2/R1]}$$

$$w = C0(ps - p0)$$

…式(1-13)

【0098】この時、式(1-13)中の w は流量、 p
 $s - p0$ は差圧である為、 $C0$ はコンダクタンスを表し、以下の式(1-14)で表される。

*【0099】

【数14】

*

$$C0 = \frac{\pi}{12\mu} \frac{m}{R0T0} \frac{r0^3}{\log[R2/R1]} (ps + p0)$$

…式(1-14)

【0100】ここで、円板H0と被加工物Jとで構成される気体流路のコンダクタンス $C0$ は、圧力 ps 及び $p0$ によって変化するが、幾何学的境界条件によって上記コンダクタンスを設定する場合、 $t0$ 、 $R2$ 、 $R1$ に依

存する事となる。

【0101】ここで、プラズマを発生させる気体の圧力を、例えば大気圧以上の高圧にし、多くの気体分子をプラズマ中に供給し、高い加工速度を達成する方式が、

従来技術に示したプラズマCVMである。

【0102】ここで、圧力 p_{s1} で気体を供給し、要求される所定の気体の流量を w_1 とすると、その時の円板H0の周囲圧力を p_{01} 、その時の気体の物性及び円板による境界条件 R_1 、 R_2 、 t_0 によって決定される定数 c の値を $c=c_1$ 、コンダクタンスを $C_0=C_{01}$ とする。

【0103】ここで、プラズマを発生させる為に供給する気体の種類（分子量 m ）、圧力（ p_s ）、温度（ T ）は被加工物J及び、目的とする加工現象によって決定される為、変更する事が出来ない。

【0104】ここで変化させる事が出来るのは、円板周囲の雰囲気圧力 p_0 、及び円板H0の配置、つまり境界条件 R_1 、 R_2 、 t_0 である。

① $c=c_1$ が非常に大きくなるように、 R_1 、 R_2 、 t_0 を設定する時、つまり供給部から円板周囲への気体流路の幅 t_0 を広くし、 R_2/R_1 を大きくする事によって高圧力供給部から周囲気体雰囲気への気体流路のコンダクタンス C_0 を高くした場合（ $C_0=C_{01}$ ）には、式（1-12）より、

$$p_{s1}=p_{01}$$

となり、高圧気体供給部圧力 p_s と円板周囲圧力 p_0 がほとんど等しくなる。また式（1-9）より、

$$p=p_s=p_0 \quad (R_1 \leq r \leq R_2)$$

となり、高圧力供給部から周囲気体雰囲気への気体流路である円板H0と被加工物Jとの間に圧力分布は発生しない。

②しかし、上記必要気体供給量 w_1 、供給気体圧力 p_{s1} を保ったまま、上記コンダクタンス C_0 を低く $C_0=C_{02}$ とし（ $C_{01}>C_{02}$ ）、それに対応して周囲気体圧力 p_0 を小さく設定する場合（ $p_0=p_{02}<p_{01}$ ）には、式（1-12）より、気体流量 w は、 $w=w_1=c_2(p_{s1}^2-p_{02}^2)$

を保つように、 C_{02} 及び、 p_{02} を設定し、且つ（供給部圧力： p_{s1} ）>（円板H0周囲の雰囲気圧力： p_{02} ）である為、式（1-9）によって示される圧力分布を円板H0と被加工物Jとの間、つまり低コンダクタンス流路部分に形成する事になり、上記円板H0と被加工物J間の気体圧力は円板周囲の圧力 $p_0=p_{02}$ より全て高圧状態となっている。

【0105】つまり、同じ圧力 p_{s1} によって気体を供給し、ある同じ気体の供給量 w_1 を実現する方法には、①上記供給部から周囲雰囲気への気体流路のコンダクタンスが大きくなる様に上記円板H0の壁面を設定し、供給圧力 p_s と周囲圧力 p_0 とが等しい状態で流す場合と、

②上記コンダクタンスが低くなる様に上記円板H0の壁面を設定し、供給圧力 p_s と周囲圧力 p_0 との差圧が大きい状態で流す場合とが存在するのである。

【0106】ここで更に、円板H0と被加工物Jとの間

にプラズマを発生させ、高加工速度を達成する為に供給圧力 p_s を大きくし、高圧力気体を供給する時を考える。

【0107】前述したように、①の場合においても②の場合においても、円板H0と被加工物Jの間には同じ気体流量 $w=w_1$ が流れ、①と②の加工速度は変わらない。

【0108】しかし、上記①の場合には、供給部の圧力 p_s 、プラズマを発生させる上記円板H0-被加工物J間、更に周囲圧力 p_0 に圧力分布はなく、全て同じ圧力である。ここで、プラズマが発生する部分においては、高圧力即ち平均自由工程の短さにより、容易に衝突、凝縮し、反応生成物を形成する。プラズマ中においては、反応生成物は即座に再分解し、被加工物表面を汚染する事はない。

【0109】しかし周囲の気体雰囲気においては、反応生成物は被加工物表面に付着し、加工特性を劣化させ、その周囲の気体雰囲気の圧力がプラズマが発生する部分と同等の高圧力である為、その平均自由工程の短さから、非常に頻りに衝突、凝縮を繰り返し、粒径の大きい反応生成物が形成、付着する事になる。従って加工特性を著しく劣化させ、高加工速度を達成する変わりに被加工物表面を汚染しやすくなる。

【0110】ここで上記反応生成物の発生を抑制する為、周囲気体の雰囲気圧力 $p_0=p_{01}$ を低くすると、供給部の圧力 p_s 、プラズマを発生させる上記円板H0-被加工物J間、更に周囲圧力 p_0 は等しい状態である為、プラズマ部の圧力も減少し、清浄表面を得る事が出来るが、高加工速度を達成できない。

【0111】つまり、①の状態においては、高加工速度及び清浄表面を同時に実現する事が出来ないのである。

【0112】しかし上記②の場合、高加工速度を達成する為の同じ気体供給量 w_1 を実現すると同時に、その気体流路のコンダクタンス C_0 の低さから、供給部の圧力 p_s に対して $p_s>p_{02}$ なる周囲雰囲気圧力 p_{02} を維持する。

【0113】ここでプラズマ中において発生した反応生成物は、①と同様に即座に再分解され被加工物表面を汚染しない。②の場合は更に、周囲気体雰囲気においても、上記プラズマを発生させる上記円板H0と被加工物J間の圧力より低圧力である為、より低圧力による平均自由工程の長さから反応生成物が比較的衝突、凝縮せず、清浄な加工を行う事が出来るのである。

【0114】つまり、プラズマ部における高圧力から高加工速度を達成し、同時に周囲雰囲気がプラズマ部より低圧力である事から、清浄な被加工物表面を得る事が出来るのである。

【0115】上記周囲圧力 p_0 は小さければ小さいほど清浄な加工を行う事が出来る。その最小値は $p_0=0$ つまり周囲が真空状態の時である。

【0116】①、②各々の場合において、供給圧力 p 、周囲雰囲気圧 p_0 、重量流量 w 、コンダクタンス C 、定数 c の状態を示すと表1のようになる。

*【0117】
【表1】

低コンダクタンスな気体流路による差圧の発生

条件	供給圧力 p_a	雰囲気圧 p_0	コンダクタンス C_0	重量流量 w	加工速度	被加工面の 清浄度
①	p_{a1}	$p_{01} (=p_{a1})$	C_{01}	w_1	①と②は同じ加工 速度	低い
②	p_{a1}	$p_{02} (<p_{01})$	$C_{02} (<C_{01})$	w_1		高い

【0118】今回、高圧気体供給部から円板H0の周囲の雰囲気への気体流路を、内半径 R_1 、外半径 R_2 の上記円板H0と間隔 t_0 だけ離れて対向させた上記被加工物Jによって形成し、そのコンダクタンスにおいても粘性気体の運動方程式であるNavier-Stokes方程式(式1-1)を用いて求めた。

【0119】ここで、上記高圧気体供給部に対して周囲雰囲気との差圧を設ける方法は、上記高圧気体供給部から上記周囲雰囲気への気体流路のコンダクタンスを低くする方法であり、上記円板H0-被加工物J間の間隔 t_0 を小さくし、 R_2/R_1 を大きくする方法に限定しない。

【0120】また流れる気体の圧力が低い場合、上記コンダクタンス C_0 の求め方は、上記Navier-Stokes方程式による方式でなく気体分子運動論を用いて求めなければならないが、求め方に関わらず、高圧気体供給部から周囲の雰囲気への気体流路を低いコンダクタンスに設定する事によって上記②の場合に示した高加工速度且つ清浄表面を得る事が出来るのである。

【0121】次に添付図面1から図2に基づき高能率で、清浄に被加工物加工表面を平滑化、平坦化を行うプラズマによる超精密加工方法及びその装置について更に詳しく説明する。

【0122】(実施の形態1) 本発明の実施の形態1について図1から図12に基づいて詳細に述べる。

【0123】図1は、実施の形態1に係る超精密加工装置100の全体概念図である。超精密加工装置100は、電極浮上型高圧浮上電極H1、被加工物J、被加工物固定用試料台T、試料台走査ステージS、反応容器C、電源G、共振・整合装置M、フレキシブル電力伝送線路I、電力伝送線路K、高圧反応ガス供給装置R、排気装置E、高圧浮上電極走査装置U、そしてそれらを制御する制御装置Nを備える。

【0124】尚、超精密加工装置100は、被加工物-電極間ギャップを測定する図示しない被加工物-電極間ギャップ測定装置をさらに備える。電極浮上型高圧浮上電極H1及び被加工物固定用試料台Tは、それぞれの温度を調整する為の図示しない水冷機構若しくは図示しない加熱機構を備える。また被加工物固定用試料台Tは、図示しない被加工物固定部Fを更に備える。

【0125】図2は、電極浮上型高圧浮上電極H1の断面図である。1は、高圧反応ガスを高圧反応ガス供給装

置Rから電極浮上型高圧浮上電極H1へ輸送する高圧反応ガス供給経路である。2は、電極浮上型高圧浮上電極H1の被加工物Jに対向する位置に設けられ、高圧反応ガス供給装置Rから輸送された高圧反応ガスを噴出する高圧力反応ガス供給口である。

【0126】1Bは、高圧反応ガス供給口2から供給する反応ガスの圧力を高圧力反応ガス供給口2によって分布が発生しない様にするバッファ部であり、図中のバッファ部1Bはお互いにつながっている。

【0127】3は反応ガス排気口4と排気装置Eとをつなぐ反応生成物排気経路であり、また4は、排気装置Eにつながり局所領域プラズマP中での反応によって発生した反応生成物を排気する反応ガス排気口である。

【0128】5は、電極浮上型高圧浮上電極H1の内側電極である。6は、電極浮上型高圧浮上電極H1の外側電極である。11は内側電極5及び外側電極6の間を絶縁する絶縁体である。7は内側電極5及び外側電極6と絶縁体11とによって形成される電力伝送線路開放端である。8は電極浮上型高圧浮上電極H1とフレキシブル電力伝送線路Iとを接続するコネクタである。

【0129】9は、電極浮上型高圧浮上電極H1と駆動モーター10(図1)とを接続する走査ワイヤー若しくはベルトであり、これを通じて駆動モーター10を回転させる事によって電極浮上型高圧浮上電極H1を被加工物Jに対して相対的に移動させる。走査ワイヤー若しくはベルト9及び駆動モーター10をまとめて高圧浮上電極走査装置Uと呼ぶ(図1)。

【0130】図3は、電極浮上型高圧浮上電極H1の被加工物対向部分を表した下方斜面図である。電極浮上型高圧浮上電極H1の電極形状を、反応生成物排気口4を中心に持つ円盤型形状とし、高圧反応ガス供給口2の形状を図3中に示される微小孔とし、微小孔を同一円周上に多数個配置し、局所領域プラズマPを発生させる電力伝送線路開放端7の形状を反応生成物排気口4を中心に持つ円周形状とし、電力伝送線路開放端7の位置を高圧反応ガス供給口2より反応ガス排出口4側に十分離れて設けてなる事を示す。

【0131】図4は、被加工物Jと被加工物固定用試料台Tとの段差 t を示す部分断面図である。実施の形態1においては、反応容器C内に被加工物J及び電極浮上型高圧浮上電極H1を対向させて配し、高圧反応ガス供給装置Rから目的とする加工特性より決定された高圧力反

応ガスを高圧反応ガス供給経路1を通じて電極浮上型高圧浮上電極H1に供給し、高圧浮上電極H1は高圧浮上電極H1と被加工物Jが対向する部分に高圧反応ガスを高圧反応ガス供給口2より供給する事によって高圧浮上電極H1を被加工物Jに対して微小間隔Dだけ浮上させる。

【0132】これにより前述した「低コンダクタンスによる差圧発生理論」における②の場合において説明したように、高圧浮上電極H1の被加工物Jと対向する部分を、高圧反応ガス供給口2から反応容器C内の気体雰囲気へ向かう気体流路を低コンダクタンスな気体流路にする壁面とする。低コンダクタンスにより、排気装置Eにより排気される反応容器C内の気体圧力より高圧力の反応ガス雰囲気を、高圧浮上電極H1と被加工物J間の微小間隔Dによる低コンダクタンス部分に局所的に形成する。

【0133】図2および図1を参照して、電源Gから発生した電力は、電力伝送線路K、昇圧・整合装置M、フレキシブル電力伝送線路Iを通じて高圧浮上電極H1に伝達され、更に内側電極5及び外側電極6及び絶縁体11によって構成される電極内電力伝送線路を通じて、高圧浮上電極H1の被加工物Jと対向する部分であって、且つ高圧反応ガス供給口2より離れた位置に設けられた電力伝送線路開放端7に伝達され、高電界を発生させ、電力伝送線路開放端7の位置、即ち高圧浮上電極H1と被加工物Jとの間の微小間隔D中の高圧力反応ガス雰囲気中であって、且つ高圧反応ガス供給口2より離れた部分に局所領域高圧プラズマPを発生させ、局所領域高圧プラズマP中で上記高圧反応ガスを分解、活性化し、生じた活性種と被加工物Jとを化学反応させ、生じた化合物を気化させる事により、被加工物Jの局所領域高圧プラズマP直下の加工を行う。

【0134】上記化学反応によって生じた反応生成物は、反応生成物排気口4から反応生成物排気経路3を通じて排気装置Eによって即座に排気される。また、反応容器C内の気体雰囲気へ流れた反応生成物においては、反応容器C全体を同様に排気装置Eによって排気する事により反応生成物の除去を行っている。

【0135】また、高圧浮上電極走査装置U及び走査ステージSを用いて高圧浮上電極H1と被加工物Jとの相対的位置を変化させる事によって、被加工物Jの全体加工を行う事が出来るのである。そして制御装置Nによって、所望の加工を行うのである。

【0136】以上のように実施の形態1によれば、高圧浮上電極H1と被加工物Jとの間の微小間隔D中の高圧力雰囲気に局所領域高圧プラズマPを発生させるため、高密度な活性種を生成することができる。その結果、高い加工速度を実現できる。また同時に、局所領域高圧プラズマPが発生し、加工が行われている高圧浮上電極H1と被加工物Jとの間の高圧力雰囲気の圧力よりも反応

容器C内の圧力が低圧に若しくは真空中に維持されている事から、被加工物Jを清浄に加工することができる。

【0137】反応容器C内の圧力が低ければ低いほど被加工物を清浄に加工する事が出来るので、反応容器C内の雰囲気は真空雰囲気である場合に最大の効果を得ることができる。

【0138】また、反応容器C内の圧力が1気圧以下である場合においては、反応容器C外の大気よりも反応容器C内の圧力が低い為、ガス漏洩時においても反応容器C内のガス雰囲気が反応容器C外に漏洩しないので、超精密加工装置の安全性を高める事が出来るという効果を併せ持つ。

【0139】さらに、反応容器C内の雰囲気が真空雰囲気である場合においては、被加工物Jを反応容器C外に搬出する際の反応ガスパージの際、反応ガスを排気する時間を非常に短く、又はなくす事ができるので、超精密加工装置のスループットを向上させる事が出来る。

【0140】また実施の形態1によれば、微小間隔D中には高圧反応ガス供給口2から反応容器C内雰囲気へ向かう反応ガスの被加工物表面に沿った流れ、若しくは反応生成排気口4へ向かう反応ガスの被加工物表面に沿った流れが形成されるので、被加工物表面に沿った流れが形成される微小間隔D中に局所領域高圧プラズマPを発生させる事により、被加工物表面の微小凹凸を平滑化、平坦化することができる。

【0141】さらに実施の形態1によれば、高圧反応ガス供給口2の直下ではなく高圧反応ガス供給口2から離れた部分に局所領域高圧プラズマPを発生させるので、高圧反応ガス供給口2の反応ガス噴出流によって、高圧反応ガス供給口2の周辺の加工量よりも高圧反応ガス供給口2直下の加工量が多くなる加工量分布を形成する事なく、上記平滑化、平坦化を行う事が出来る。

【0142】実施の形態1においては、電極浮上型高圧浮上電極H1を被加工物Jに対して微小間隔Dだけ浮上させる事によって上記低コンダクタンスな気体流路を実現する例を説明したが、本発明はこれに限定されない。電極浮上型高圧浮上電極H1を、被加工物Jに対して微小間隔Dだけ離れて設置させる事によっても同様の効果を得ることが出来る。

【0143】更に以下に

- ①加工用電極H1を被加工物Jに対して微小間隔浮上させる方式及びその効果。
- ②電力伝送線路開放端によってプラズマを発生させる方式及びその効果。
- ③清浄な加工表面を得る方式。
- ④微小凹凸を平坦化する方法及び原理。
- ⑤ガス供給口直下における加工量分布形成の防止方式。について詳述する。

【0144】(①微小間隔浮上させる方式及びその効果) まず第一に電極浮上型高圧浮上電極H1を被加工物

J に対して微小間隔浮上させる方式について図 1 から図 5 を用いて説明する。

【0145】図 5 は電極浮上型高圧浮上電極 H 1 と被加工物 J との間の微小間隔 D 中の高圧反応ガスの圧力分布を示す模式図である。上記圧力分布は、図 25 A に示されるような簡単な場合においては、代数的に規定することが出来、同時に気体圧力より受ける力を上記式 (1-11-2) により計算できるが、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 のように高圧反応ガス供給口 2 を多数持つ場合は、代数的に求める事は出来ず、有限要素法等の方法を用いて数値解析を行なう事になり、同様に同時に気体圧力より電極浮上型高圧浮上電極 H 1 が受ける力も数値解析的に求める事になる。

【0146】図 5 中、P 0 は高圧反応ガス供給口 2 の圧力、P 1 は反応容器 C 内の気体圧力、P 2 は反応ガス排気口 4 の圧力である。

【0147】高圧反応ガス供給装置 R より反応ガス種、温度、圧力、流量、混合比を制御された高圧反応ガスは、高圧反応ガス供給経路 1 を通じて電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の内部へと供給される。電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の内部へ供給された上記高圧反応ガスは、図 2 の断面図に示される電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の、被加工物 J と対向する位置に設けられた高圧力反応ガス供給口 2 から高圧浮上電極 H 1 と被加工物 J との間へと供給される。

【0148】高圧反応ガスは、排気装置 E により排気されて低圧若しくは真空となった反応容器 C 内の気体雰囲気との差圧により力を受け、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 を被加工物 J より、微小間隔 D だけ浮上させるのである。

【0149】また、微小間隔 D の浮上量は小さい為、高圧力反応ガス供給口 2 から反応容器 C の低圧若しくは真空雰囲気へと向かう気体流路のコンダクタンスは非常に小さくなり、図 5 中の反応ガス供給口 2 における反応ガス供給圧力 P 0 から反応容器 C の低圧若しくは真空雰囲気の圧力 P 1 へ連続的に変化する圧力分布を形成する。

【0150】また同時に、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の被加工物対向部分 12 に開口し反応生成物排気経路 3 (図 2) を通じて排気装置 E (図 2) に接続され微小間隔 D 中の反応ガス及び反応生成物を排気する反応ガス排気口 4 には、圧力 P 2 ($P_2 < P_0$) の低圧雰囲気が形成されており、同様に高圧反応ガス供給口 2 における圧力 P 0 から反応ガス排気口 4 周辺領域の低圧力 P 2 へ変化する圧力分布を形成する。

【0151】微小間隔 D によって変化する圧力分布による、反応容器 C 内雰囲気との差圧と、電極重量のバランスによって電極浮上型高圧浮上電極 H 1 は浮上するのである。

【0152】また、この微小間隔 D は、反応ガス供給圧力 P 0、反応容器内圧力 P 1、電極重量、電極一被加工

物対向面積、高圧反応ガス供給口 2 の出口形状、高圧浮上電極内の反応生成物排気口における排気速度によって決定し、反応ガス供給圧力 P 0、温度、混合比または周囲圧力、温度等を制御する事によって電極浮上型高圧浮上電極 H 1 と被加工物 J との広い対向面積に対して $1 \mu\text{m}$ から数百 μm の微小間隔 D に安定して制御する事を可能とする。

【0153】この時図示しない被加工物電極間ギャップ測定装置によって上記電極一被加工物間隔を測定し、ステージ S によって上記電極一被加工物間隔を一定に保つ事も原理的には可能であるが、プラズマの熱による電極浮上型高圧浮上電極 H 1 及び被加工物 J の変形が存在し、またプラズマを発生させる為の電界が存在し、更に腐食性雰囲気によってギャップ測定を行う事が困難な状況となっている。この様な場合においても上記電極一被加工物の圧力と、反応容器 C 内雰囲気の差圧を用いて電極浮上型高圧浮上電極 H 1 を被加工物 J に対して浮上させる事により、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 と被加工物 J との広い対向面積に対して $1 \mu\text{m}$ から高々数百 μm の微小間隔 D に安定して制御する事を可能とするのである。

【0154】また更に、図示しないが、磁性体若しくは磁力発生機構を必要に応じて電極浮上型高圧浮上電極 H 1 及び被加工物固定用試料台に設け、磁性体若しくは磁力発生機構から発生する磁力によって電極浮上型高圧浮上電極 H 1 を浮上させる事により、高圧反応ガス供給部の圧力 P 0 を低く設定する事が可能となり、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の重量でなく、目的とする加工特性によって高圧反応ガス供給部の圧力条件を設定する事も可能である。

【0155】(②電力伝送線路開放端によってプラズマを発生させる方式及びその効果) 次にその微小間隔 D 中の高圧反応ガス雰囲気に局所領域高圧プラズマ P を発生させる方式について同様に図 1、2、3 及び図 6 に基づいて説明する。

【0156】図 6 は、電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の被加工物 J と対向する部分に設けられた電力伝送線路開放端 7 における局所領域高圧プラズマ P の発生を示す概略図である。

【0157】図 1 の電源 G より発生した電力は、電力伝送線路 K を通り、共振・整合装置 M に達し、共振・整合装置 M により必要に応じて昇圧とインピーダンスマッチングを行い、効率よく電力を高圧浮上電極 H 1 へ伝達させる。

【0158】共振・整合装置 M により昇圧された上記電力は、フレキシブル電力伝送線路 I を通じて電極浮上型高圧浮上電極 H 1 に供給され、更に内側電極 5 及び外側電極 6 及び絶縁体 11 によって構成される電極内電力伝送線路を通じて、高圧浮上電極 H 1 の被加工物 J に対向する部分であって且つ上記高圧反応ガス供給口 2 より離

れた位置に設けられた電力伝送線路開放端7に達する。

【0159】ここで、電力伝送線路開放端7とは、上記図2に示される実施の形態においては、電源Gより直流若しくは交流電圧を伝送した電力伝送線路K、フレキシブル電力伝送線路I、そして電極内電力伝送線路が、最終的に高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12において絶縁体11によって内側電極5と外側電極6が絶縁状態のまま終端している部分を意味し、図6に示されるように、内側電極5と外側電極6との間で高電圧、強いては強電界を発生させ、被加工物Jの有無に関係なく、内側電極5と外側電極6との間でプラズマを発生させる事を可能とし、更には外側電極6と内側電極5との間以外にプラズマが拡大する事を抑制する事が出来、即ち局所領域高圧プラズマPを発生させる事ができる。

【0160】電力伝送線路開放端7は高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12に形成されている為、高圧浮上電極H1と被加工物Jとの間の高圧反応ガス雰囲気は局所領域プラズマPを発生させるのである。

【0161】以上のように実施の形態1によれば、内側電極5をカソード電極、外側電極6をアノード電極として、被加工物Jの有無に関係なく内側電極5、外側電極6間でプラズマPを発生させる事が可能である為、電極走査の際に電力伝送線路Kの等価回路が変化しない。この結果、プラズマが安定し、高精度な被加工物仕上げ面形状を得る事が出来る。

【0162】前述したプラズマの安定は、内側電極5をカソード電極、外側電極6をアノード電極とする場合に限らず、電力伝送線路の開放端において高電界を発生させ被加工物の有無に関係なくプラズマを発生させる事に起因するものである。

【0163】(③清浄な加工表面を得る方式)次に実施の形態1によって、高速度で被加工物Jの加工を行い、かつ清浄な加工表面を得る方式について、同様に図1から図5を用いて説明する。

【0164】本発明は、高圧反応ガス雰囲気中における局所領域プラズマにより高圧反応ガスに基づく高密度活性種を発生させ、被加工物と化学反応させ、揮発性物質に変化させる事により、被加工物に対する高加工速度を達成する。

【0165】同時に反応容器内圧力を局所領域プラズマ発生部の圧力より低く若しくは真空に維持する事によって、清浄な被加工物加工表面を得る加工法である。反応ガスに用いるガス種、温度、圧力は目的とする加工、及び被加工物材料によって選択されなければならない。また反応ガス種に用いるガスは一種類に限定せず、希ガス、他の反応ガスと混合させ、最適条件を設定するものとする。

【0166】ここで、Siウエハを被加工物とし、反応ガスとしてフッ素(F₂)を数%含んだHeを用いて、加工を行う場合を例にとって清浄な加工表面を得る方式

について更に詳しく説明する。

【0167】高圧反応ガス供給口2より供給された高圧反応ガスは、図5に示されるように高圧反応ガス供給口2の高圧力P0から、低圧若しくは真空雰囲気中に排気された反応容器内圧力P1若しくは反応ガス排気口4の圧力P2へと連続的に変化する圧力分布にしたがって移動する。

【0168】高圧反応ガスは、高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12に設けられた電力伝送線路開放端7に発生した局所領域プラズマPにおいて、分解・励起され、高圧反応ガスに基づく活性種を発生する。高圧反応ガスに基づく活性種が被加工物原子を揮発性分子に変化させる事によって局所領域プラズマP直下の加工を行う。

【0169】局所領域プラズマPによる反応において、生じるのは上記揮発性分子のみでなく、他に不揮発性分子、上記不揮発性分子が凝縮した不揮発性物体、また炭化粉末物、金属粉末等と上記ガス分子、上記揮発性分子、及び不揮発性分子、不揮発性物体などが互いに付着・重合した雰囲気パーティクル、が存在する。

【0170】前述した揮発性分子、不揮発性分子、不揮発性物体および雰囲気パーティクルをまとめて反応生成物と呼ぶ。ただし、上記雰囲気パーティクルは炭化粉末、金属粉末等自体を含むものとし、炭化粉末、金属粉末等は供給ガス、及び電極材料、反応容器材料等の各種の各種構造物材料から発生する。

【0171】ここで今回、被加工物JとしてSiウエハ、反応ガスとしてフッ素を数%含むHeを選択している為、局所領域プラズマ中において、被加工物Jを構成する原子Siと反応ガスとが解離して発生したフッ素原子Fとの化学反応により、揮発性分子としてSiF₄を生成する。

$$\text{Si} + 4\text{F} \rightarrow \text{SiF}_4$$
 の反応式によって生じるが、それら以外にSiF_n (m, nは整数)で表される種々のフッ化シリコンも反応生成物として同時に生じ、中には非常に不安定で、反応性の高い分子も含まれる。

【0172】上記SiF₄は、常温において揮発性であり、容易に被加工物表面より脱離し、またSiF_n (m, nは整数)等の分子も、局所領域プラズマP中においてはプラズマ中のイオンの衝撃、また被加工物表面の温度より与えられた運動エネルギーにより、容易に被加工物表面より脱離するので、SiF₄およびSiF_n (m, nは整数)等の分子が被加工物表面の加工を阻害する事は無い。

【0173】しかし、上記プラズマPより外部に放出された上記SiF_n (m, nは整数)等の反応性分子は、互いに凝縮、若しくは容易に上記反応容器内の雰囲気パーティクルと凝縮し、雰囲気パーティクルの粒径及び粒径の大きい雰囲気パーティクルの粒子数を増大させ、加工中に被加工物表面再付着する事によって、プロセス自

体の歩留りを悪化させる事が考えられる。

【0174】しかし、本加工法においては、反応容器内部の雰囲気気体圧力 P_1 を、少なくとも反応ガス供給圧力 P_0 より低圧に、若しくは真空中に排気する事によって、雰囲気パーティクルを長時間浮遊させず、また、上記反応生成物の平均自由行程が長くなる事により、雰囲気パーティクルの形成自体を抑制し、また雰囲気パーティクルの粒径が増大する事を防ぎ、また雰囲気パーティクルの粒子数の増大を防ぎ、清浄な加工表面を得る事を可能とする。

【0175】ここで、問題となるのは、加工中及び加工後に被加工物表面に再付着する上記雰囲気パーティクルの粒径とその粒子数である。加工中に加工物表面に再付着する上記雰囲気パーティクルにおいては、粒径及び粒子数が小さい場合は、上記雰囲気パーティクルの多くは元来、上記 SiF_3 、 SiF_2 が凝縮したものである為、上記プラズマ中で即座に再分解され、被加工物表面より脱離し、清浄な加工表面を得る事を可能とするのである。

【0176】また加工後に被加工物表面に再付着する上記雰囲気パーティクルにおいては、粒子数が小さい場合は、本プロセスによる加工後、さらに成膜、加工等を行う場合においてもその小ささから影響を与えず、何ら問題が無いのである。

【0177】上記清浄な加工表面を得る方式は上記反応容器内の圧力 P_1 が小さい程、その効果が大きく、上記反応容器内の圧力 P_1 が真空である場合、最大の効果を示す。

【0178】また更に金属材料、例えばタングステン (W)、モリブデン (Mo) 等、及びそれらを含む材料を加工する場合においても、主たる反応生成物は WF_6 、 MoF_6 であり、上記反応生成物は、常温において揮発性物質ではなく、上記反応生成物は液体状態になる。

【0179】そこで上記反応容器 C 内の気体雰囲気を上記反応生成物の蒸気圧より低く設定する事により、上記 WF_6 、 MoF_6 が液体状態になる事を防ぎ、上記被加工物表面に付着する事を防ぎ、上記被加工物表面の清浄を実現するのである。

【0180】また、上記高圧浮上電極 H1 - 被加工物 J 間の微小間隔 D 中の上記被加工物表面に沿った流れの中において、局所領域プラズマ P 中で発生した上記反応生成物の輸送及び除去についても、局所領域プラズマ P 中の上記高圧反応ガスに基づく活性種と被加工物原子との化学反応で発生した揮発性物質、及び上記反応生成物は、上記被加工物表面に沿った流れによって速やかに上記局所領域プラズマ P 中から移動し、一定領域によむ事の無いまま、上記高圧浮上電極 H1 中に設けられた上記反応ガス排気口 4 を通じて反応ガス排気装置 E へと排出され、上記被加工物表面若しくは反応容器内雰囲気の

清浄化を実現するのである。

【0181】また同時に、上記反応生成物はよむ事の無いまま上記高圧浮上電極 H1 周囲の真空若しくは低圧雰囲気にも放出され、放出された上記反応生成物は、反応容器 C 内を常時排気し、真空若しくは一定の圧力以下に維持する事で、反応生成物の雰囲気パーティクルとの凝縮、被加工物表面への再付着を避け、もって反応容器内及び被加工物表面の清浄化を実現するのである。

【0182】(4)微小凹凸を平坦化する方法及び原理)
次に上記高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れ中のプラズマによって上記被加工物表面の微小凹凸を平坦化する方法及び原理について図 5、7 に基づいて説明する。

【0183】図 7 は、局所領域プラズマ P 中の高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れによる平坦化効果を示す概念図である。

【0184】図 7 中 13 は、高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れである。14 は、被加工物表面の微小凸部である。15 は、被加工物表面の微小凹部である。X1 は、高圧反応ガスに基づく活性種である。X2 は、被加工物原子である。

【0185】図 5 の様に、高圧浮上電極 H1 の被加工物対向部 12 と被加工物表面の微小間隔 D 間において、高圧反応ガス供給口 2 の高圧力 P_0 から、反応容器 C 内の低圧若しくは真空圧力 P_1 へ連続的に変化する圧力分布を形成し、同じく高圧反応ガス供給口 2 の高圧力 P_0 から、排気装置 E に接続される反応生成物排気口 4 での圧力 P_2 に連続的に変化する圧力分布を形成し、高圧反応ガスは図 5 に示される圧力分布にしたがって、微小間隔 D 中を安定して被加工物表面に沿った流れとなって移動する。

【0186】従って本加工方式は、電源 G より電力伝送線路開放端 7 に伝送された電力によって高圧反応ガスに基づく局所領域プラズマ P を被加工物表面に沿った流れ中にて発生させる為、局所領域プラズマ P において生成した高圧反応ガスに基づく高密度活性種 X1 は図 7 に示すように被加工物表面の微小凸部 14 の上部の被加工物原子 X2 と選択的に反応する。この結果、局所領域プラズマ P 発生領域直下の被加工物表面を局所的に平滑化する事が出来る。

【0187】また被加工物 J と高圧浮上電極 H1 とを相対的に移動させる事によって被加工物 J の全体的な表面平滑化を行うのである。即ち実施の形態 1 においては、高圧浮上電極走査装置 U は電極浮上型高圧浮上電極 H1 につながれた走査ワイヤーもしくはベルト 9 を反応容器 C 若しくは反応容器 C の外部に設置した駆動モーターに繋げ、その駆動モーターの引っ張りにより高圧浮上電極 H1 を移動させる。

【0188】このようにして摺動部におけるパーティクルの発生を極めて押さえた駆動装置を実現する事ができ

る。

【0189】ここで、上記高圧浮上電極走査装置Uは駆動モーターとワイヤー若しくはベルト9を用いた走査方式に限定せず、目的に応じて変更してもかまわない。

【0190】(5)ガス供給口直下における加工量分布形成の防止方式)更に実施の形態1において、電力伝送線開放端7を高圧反応ガス供給口2から離れた位置に設置する事による、高圧反応ガス供給口2直下における加工量分布形成の防止について図2、図3及び図8A、図8Bに基づいて述べる。

【0191】図8Aは従来方式である、高圧反応ガス供給口2を含む近傍に局所領域プラズマPを発生させる場合に供給口直下に形成される加工量分布を示す断面図である。図8Bは本発明である、高圧反応ガス供給口2から離れた位置に電力伝送線開放端7を設置し、局所領域プラズマPを発生させる場合に局所領域プラズマP直下に形成される加工量分布を示す断面図である。

【0192】図8Aおよび図8Bを参照して、16Aは、高圧反応ガス噴出口2から噴出する高圧反応ガス噴出流である。16Bは、微小間隔D中で被加工物表面に沿う流れとなった高圧反応ガス流である。17Aは、高圧反応ガス噴出口2を含む近傍に局所領域プラズマPを発生させる場合に高圧反応ガス噴出口2の直下に形成される加工量分布である。17Bは、高圧反応ガス供給口2から離れた位置に電力伝送線開放端7を設置し、局所領域プラズマPを発生させる場合に局所領域プラズマP直下に形成される加工量分布である。

【0193】ここでもし、高圧反応ガス供給口2の直下を含む高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12の全面でプラズマを発生させる場合には、加工領域はプラズマ発生領域、即ち、高圧反応ガス供給口2の直下を含む高圧浮上電極H1の被加工物対向部分全面となるが、図8Aに示されるように、特に高圧反応ガス供給口2直下には、噴出した上記高圧反応ガス流16Aが被加工物表面に、上記被加工物表面に垂直な方向から衝突する事となり、従って上記供給口2直下には、反応ガス供給口2の周辺以外の、被加工物表面に沿う流れ16Bが形成されている領域より加工量が多くなり、図8A中17Aに示されるような加工量分布を形成する。

【0194】従って高圧浮上電極H1の走査を行い被加工物全面の平坦化を行なう際、高圧反応ガス供給口2の位置と電極H1を走査する軌跡によって決定される加工溝が加工後の被加工物加工表面に形成される事となる。

【0195】従って本実施例では、図8Bに示される様に、内側電極5、外側電極6によって構成される電力伝送線の開放端部7にプラズマPを発生させる事によりプラズマPの発生する領域を規定し、局所領域プラズマPとする。また図8B及び図3に示されるように、局所領域プラズマPの位置を高圧反応ガス供給口2から十分離れた位置に設置する事で、高圧反応ガス供給口2直下

における加工量分布17Aの形成を防ぎ、即ち微小間隔D中の被加工物表面に沿う流れでの局所領域プラズマP発生部における加工により、非常に安定した形状の加工痕、即ち上記局所領域プラズマ直下の加工量分布17Bを形成し、上記加工痕を被加工物全体に走査させることにより、上記加工溝の無い平滑化及び平坦化を可能とした。

【0196】その他の望ましい事項について以下に示す。

10 【0197】実施の形態1では、局所的な高圧プラズマPを発生させ、上記プラズマ近傍の局所的な平滑化加工を行い、上記電極H1と被加工物Jとを相対的に移動させる事によって全体の平滑化、平坦化を行う為、また微小間隔D中の反応ガスの高圧力と電極重量、及び反応容器C内の低圧若しくは真空雰囲気との釣合によって上記微小間隔Dを形成している為、共振・整合装置Mと電極浮上型高圧浮上電極H1とを接続する電力伝送線路は変形可能なフレキシブル電力伝送線路Iを用いる事が望ましいのである。

20 【0198】また、フレキシブル電力伝送線路Iと高圧浮上電極H1との接続はコネクタ8によって行われ、この接続は接続部での接触抵抗による損失、電磁波漏れの無い様に行わなければならない。

【0199】さらに、絶縁体11は電力伝送線路開放端7に発生した局所領域プラズマPによって腐食される事の無い材料、例えば高純度アルミナ、窒化珪素等を用いることが望ましく、更に条件に応じて、被加工物を構成する元素を少なくとも1種類以上含む事が望ましい。例えばSiを加工する場合、絶縁体11に窒化珪素(SiN)を用いる事により、被加工物Jへの不純物混入を低減させる事ができる。

30 【0200】さらに、被加工物固定部Fに関して、被加工物Jを固定する固定用治具が高圧浮上電極H1と対向する部分へ突出した場合、前述したように高圧浮上電極H1と被加工物Jとは非常に接近している為、接触による高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12の損傷、微小間隔D内の圧力分布変化等を引き起こすため、被加工物固定部Fは真空チャック、静電チャック等の、被加工物固定治具等が上記電極対向部に突出しない機構を用いる事が望ましい。

【0201】さらに、図4に示される、被加工物Jと被加工物固定用試料台Tとの段差tは微小間隔D内の高圧反応ガスの圧力分布を変化させ、被加工物Jに対する電極浮上型高圧浮上電極H1の電極傾斜を引き起こし、更には加工速度分布の変化、電極表面への被加工物の接触等の問題を発生させるため、可能な限り小さくしなければならない。

【0202】さらに、高圧浮上電極H1の被加工物対向部分12に耐蝕・高硬度絶縁膜、例えばアルミナ溶射膜などを形成し、高精度に平坦化する事により、プラズマ

による上記被加工物対向部分の腐食を軽減させ、寿命を長期化させた高圧浮上電極を実現する事も可能である。

【0203】さらに、図9に示す超精密加工装置100Aのように、高精度に平坦化させた高精度平坦化耐蝕・高硬度絶縁体18、例えば高純度アルミナ、窒化珪素等を被加工物対向部12の全体に取り付ける事によって膜形成の困難な耐蝕・高硬度絶縁材料を被加工物対向部12に用いる事も可能である。

【0204】さらに、図10に示す超精密加工装置100Bのように、反応ガス供給口2に多孔質材料19、例えば多孔質アルミナ等を用いる事によって非常に安定して上記電極と被加工物との間の狭ギャップ間隔を制御する事を可能とする高圧力浮上電極H1Bを実現する事も可能である。

【0205】さらに、高圧浮上電極H1において、高圧反応ガス供給口2及び反応ガス排気口4の位置及び数量は1つに限定せず、図11に示す超精密加工装置100Cのように被加工物固定用試料台Tに、若しくは高圧浮上電極H1及び被加工物固定用試料台Tの両方に設置する事も可能である。

【0206】さらに、図1に示される試料台走査ステージSは目的に応じて鉛直方向運動機構、水平方向運動機構、回転機構を持ち、また被加工物固定用試料台Tに固定される被加工物Jの数は限定せず、被加工物を多数固定する試料台を用いたバッチ処理を行う事により、生産効率の向上を行う事が出来る。

【0207】図12は多回転軸、回転数をもつ被加工物多数固定用試料台T100Dを用いたバッチ処理を示す概念図である。図12中、T100Dは、被加工物多数固定用試料台である。

【0208】図12に示される超精密加工装置100Dにおいては、XYZ方向への多方向走査が可能な走査ステージS上に、回転機構θ1をもつ被加工物多数固定用試料台T100Dが設置され、更に被加工物多数固定用試料台T100D上には、被加工物多数固定用試料台T100Dの持つ回転機構θ1とは同じ若しくは異なる回転数、回転方向、回転軸の回転機構θをそれぞれ持つ被加工物固定用試料台Tが多数個設置され、被加工物固定用試料台T上に被加工物Jをそれぞれ設置し、電極浮上型高圧浮上電極H1が被加工物Jに対向する事によりバッチ処理を行うものである。走査ワイヤー若しくはベルト9を通じて電極浮上型高圧浮上電極H1を走査させ、また走査ステージSの多方向走査、また被加工物固定用試料台T及び被加工物多数固定用試料台T100Dの回転機構を用いて、ランダムに加工を行う事によって、被加工物Jをそれぞれ均一に加工し、非常に平坦度の高い被加工物加工表面を得ると同時に、バッチ処理により生産効率の向上を行う事が出来るのである。

【0209】また、高圧浮上電極ー被加工物間の微小間隔Dへ高圧反応ガスを供給する高圧反応ガス供給口2、

反応生成物排気口4、及び高圧浮上電極の被加工物対向部分12の形状は被加工物Jの形状、大きさ、仕上げ精度などを目的とする加工に応じて変化する。なお高圧浮上電極H1の実施の形態はこれに限定しない。

(実施の形態2) 次に被加工物浮上型高圧浮上電極H2を用いた本発明の実施の形態2について図13から図15に基づいて詳細な説明を行う。

【0210】被加工物浮上型高圧浮上電極H2とは、電力を電源Gより伝達され、局所領域プラズマPを発生得る電極に対して、被加工物Aを浮上させる方式を用いた高圧浮上電極である。この場合、反応容器C内に設置されるのは被加工物浮上型高圧浮上電極H2であり、浮上するのは被加工物Aの方である。

【0211】図13は、被加工物浮上型高圧浮上電極H2の概略断面図である。Aは浮上被加工物、H2は被加工物浮上型高圧浮上電極、Yは浮上被加工物走査ワイヤー若しくはベルトである。

【0212】被加工物浮上型高圧浮上電極H2は図13中には図示されない走査ステージS上に設置され、走査ステージSにより、被加工物浮上型高圧浮上電極H2を走査する事により被加工物浮上型高圧浮上電極H2と浮上被加工物Aとの相対的位置を変化させる事ができる。

【0213】浮上被加工物走査ワイヤー若しくはベルトYは、図13中には図示されない駆動モーター10に接続され、電極浮上型高圧浮上電極H1と同様に駆動モーター10を回転させる事によって浮上被加工物Aを走査させ、被加工物浮上型高圧浮上電極H2と浮上被加工物Aとの相対的位置を変化させる事ができる。駆動モーター10及び浮上被加工物走査ワイヤー若しくはベルトYをあわせて被加工物固定用試料台走査装置と呼ぶ。

【0214】実施の形態2では、局所領域プラズマPを発生させる被加工物高圧浮上電極H2に対し、浮上被加工物Aを微小間隔Dだけ浮上させる被加工物浮上方式による高圧浮上電極であり、前述した電極浮上型高圧浮上電極H1と同様、微小間隔D中に発生した局所領域プラズマP中の高圧反応ガスに基づく活性種と浮上被加工物Aとの化学反応により、浮上被加工物Aの局所領域プラズマP近傍を局所的に平滑化させ、走査ステージS及び被加工物固定用試料台走査装置を用いて被加工物浮上型高圧浮上電極H2と浮上被加工物Aの相対的位置を変化させる事によって全体的な平坦化を行う。

【0215】実施の形態2においては、電極浮上型高圧浮上電極H1で示した高圧反応ガス供給口2の形状及び位置、反応生成物排気口4の形状及び位置、電力伝送線路開放端7の形状及び位置、構造は実施の形態1の場合と同様である。

【0216】実施の形態2においては、ガラス基板等の軽量な被加工物において、比較的低圧な供給圧力によって、被加工物Aを被加工物固定用試料台Tと共に浮上させる事が出来、加工条件の圧力条件を広く設定する事を

可能とし、同時に比較的容易に被加工物搬送を行う事ができ、超精密加工装置全体の生産性を向上させる事が出来るものである。

【0217】図13中に図示しない超精密加工装置全体の構成、上記浮上被加工物Aの浮上原理、及び方式、局所領域プラズマPの発生原理及び方式、高加工速度及び被加工物の加工表面の清浄化を同時に実現する原理及び方式、微小間隔D中の被加工物表面に沿う流れの中で局所プラズマPを発生させ加工を行うことにより被加工物を平坦化、平滑化する原理及び方式、および高圧反応ガス供給口2から離れた位置に局所領域プラズマを発生させ高圧反応ガス供給口2直下における上記加工量分布17Aの形成を防止する原理および方式については、電極浮上型高圧浮上電極H1と同様に被加工物浮上型高圧浮上電極H2に対して適用できる。

【0218】また、実施の形態1で前述した高圧浮上電極H1の形状、前述した電極浮上電極H1の被加工物対向部12に対する耐蝕・高硬度絶縁膜形成、図9に示した電極浮上型高圧浮上電極H1の被加工物対向部12に対する高精度平坦化耐食蝕・高硬度絶縁膜材料18の設置、図10に示した高圧反応ガス供給口に対する多孔質材料の設置、図12に示した多回転軸、回転数をもつ被加工物多数固定用試料台T100Dによるパッチ処理方式、および被加工物固定用試料台T、被加工物固定部Fに関する構成、方式は、被加工物浮上型高圧浮上電極H2に対しても同様に適用する事が出来るものである。

【0219】また図14に示すように、被加工物浮上型高圧浮上電極H2Aにおいて、高圧反応ガス供給口2及び反応生成物排気口4の位置及び数量は1つに限定せず、被加工物固定用試料台Tに若しくは高圧浮上電極H2及び被加工物固定用試料台Tの両方に設置する事も可能である。

【0220】図15は被加工物浮上型高圧浮上電極H2において、浮上体を、図13に示した被加工物Aを固定した被加工物固定用試料台Tでなく、被加工物Aのみとした場合の例である。

【0221】図15中Y1は、被加工物Aを拘束若しくは走査させ得る浮上被加工物拘束走査機構であり、直接走査ワイヤー若しくはベルトYを被加工物Aに接続させる事無く、被加工物Aの浮上方向とは別に、側面より被加工物Aを押す事により被加工物Aを走査させる機構である。

【0222】浮上被加工物拘束走査機構Y1を有する超精密加工装置200Bによれば、電極浮上型高圧浮上電極H1及び図14の被加工物浮上型高圧浮上電極H2における被加工物のチャッキング時間を省略する事が出来、浮上被加工物拘束走査機構Y1により、一定の方向に浮上被加工物を移動させ、流れ作業的に加工し、そして上記被加工物搬送を行う事により、プロセスの生産性

を向上させる事を可能とする。

【0223】（実施の形態3）更に図16、17及び図18A、18Bに基づいて導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3による本発明の実施の形態3について説明する。

【0224】ここで導波管を電力伝送線路に用いる場合、電力伝送線路は直流及び周波数の低い交流を伝送する事が出来ず、従って電源Gは少なくとも周波数10MHz～1GHzの高周波、若しくは1GHz以上のマイクロ波電源G1を用いるものとする。

【0225】図16は、導波管を上記電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3の断面図である。図17は、導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3を別の方向より見た部分断面図である。図18Aは、導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3自体の下方斜視図である。図18Bは導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極自体の上方斜視図である。

【0226】図16中、H3は、導波管を上記電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極である。Pは、局所領域高圧プラズマである。24は、マイクロ波を印加する事によって高電界を発生し、電極浮上型高圧浮上電極H3と被加工物Jとの間の微小間隔Dに局所領域プラズマPを発生させる導波管開放端である。

【0227】21は、マイクロ波電源G1より供給されたマイクロ波を必要に応じて昇圧・マッチングする昇圧・整合装置Mから高圧浮上電極H3にマイクロ波を伝送するフレキシブル導波管である。22は、フレキシブル導波管21より、電極浮上型高圧浮上電極H3の被加工物対向部分28に位置する導波管開放端24へマイクロ波を伝達する電極内導波管である。

【0228】23は、電極内導波管22の内部空間と、電極浮上型高圧浮上電極H3と被加工物Jとの間の微小間隔Dの高圧反応ガス雰囲気とを分離する絶縁体である。20は、高圧反応ガス供給口の出口形状がスリット形状である高圧反応ガス供給スリットである。

【0229】図17中、T2は、凹形状をなし、凹部内側底面において被加工物Jを固定し凹部内側側壁において、電極浮上型高圧浮上電極H3の移動を拘束する凹状被加工物固定用試料台である。25は、高圧気体供給口であり、上記凹状被加工物固定用試料台T2の内側側壁に設けられ、高圧気体供給口25より噴出する高圧気体により電極浮上型高圧浮上電極H3に接触する事無く、電極浮上型高圧浮上電極H3の運動方向を一定の方向に拘束する。26は、高圧気体供給口25に図示しない高圧気体供給装置より、高圧気体を輸送する高圧気体供給経路である。

【0230】図18A中、27は、高圧反応ガス供給スリット20から、反応ガス排気口4へ、若しくは電極H3周囲の気体雰囲気へ向かって電極H3と被加工物Jと

の間の微小間隔Dを流れる被加工物表面に沿った流れである。

【0231】図16及び17、18A、18B中、被加工物J、被加工物固定部F、高圧反応ガス供給経路1、反応生成物排気経路3、および反応生成物排気口4については、前述した内側電極5、外側電極6及び絶縁体11によって電極内電力伝送線を構成する高圧浮上電極H1、H2と同様の構成である。

【0232】また図示しない走査ステージS、反応容器C、電源G、電力伝達線路K、共振・整合装置M、高圧反応ガス供給装置R、排気装置E、高圧浮上電極走査装置U、および制御装置Nも、前述した高圧浮上電極H1、H2と同様の構成となる。但し電源Gは、高周波若しくはマイクロ波電源である為これを新たに電源G1とおく事とする。

【0233】以下に

- ①導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3の構成
 - ②高圧浮上電極H3の浮上方式
 - ③高圧浮上電極H3の加工方式
 - ④導波管を電力伝送線路に用いる事の効果
 - ⑤電源Gにマイクロ波電源を用いる事の効果
- について以下に詳述する。

【0234】(①導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3の構成) 導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3は、図18A及び図18Bに示されるように、金属立方体において、被加工物Jと対向する一面を高精度に平坦化し、その面を電極浮上型高圧浮上電極H3の被加工物対向部分28とする。

【0235】更に上記金属立方体内部に、上記マイクロ波電力を伝達し得る電極内導波管22を設け、且つ被加工物対向部分28内の所望の位置に向かって開放終端化させ、開放終端化した電極内導波管22内部の空間を絶縁体23によって塞ぎ、電極浮上型高圧浮上電極H3の周囲の気体雰囲気より分離する。この電極内導波管22の、被加工物対向部分28において開放終端化された部分を導波管開放端24と呼ぶ。

【0236】電極内導波管22に、導波管開放端24とは反対方向からフレキシブル導波管21を接続することにより、電源G1より発生したマイクロ波電力を電極浮上型高圧浮上電極H3内の電極内導波管22、更には導波管開放端24にまでマイクロ波電力を伝達させることを可能とし、導波管開放端24の位置に局所領域プラズマPを発生させる。

【0237】絶縁体23は高硬度であり、且つ局所領域プラズマPに対して耐食性を持つ材質が望ましく、例えば高純度アルミナ、窒化珪素などが挙げられる。更に被加工物Jを構成する元素を少なくとも1種類以上含む材料、例えばSiを加工する場合には、絶縁体23に窒化

珪素を用い、被加工物Jへの不純物混入を低減させることが望ましい。

【0238】絶縁体23の設置後も被加工物対向部分28が高精度な平坦面となる程度まで、再度平坦化加工することが望ましい。更に、被加工物対向部分28に高圧反応ガスを噴出する為の高圧反応ガス供給スリット20を開口させ、その位置は、導波管開放端24より離れた位置とする。

【0239】高圧反応ガス供給スリット20に高圧反応ガス供給装置Rから高圧反応ガス供給経路1を通じて高圧反応ガスを供給し、高圧反応ガス供給スリット20から、高圧反応ガスを噴出させるのである。更に被加工物対向部分28にあって、且つ高圧反応ガス供給スリット20と導波管開放端24とに挟まれた位置に反応生成物排気経路3を通じて排気装置Eに接続され、プラズマ中の反応によって発生した反応生成物を排気する反応生成物排気口4を設ける。

【0240】図18A及び図18Bに示されるように、反応生成物排気口4及び導波管開放端24はその形状を幅の広いスリット状とし、スリット20及び反応生成物排気口4及び導波管開放端24は互いに平行関係になる様に設置する。

【0241】(②上記高圧浮上電極H3の浮上方式) 次に高圧浮上電極H3の浮上方式について図16及び図17に基づいて述べる。図17に示されるように高圧浮上電極H3を被加工物Jを固定した凹状被加工物固定用試料台T2の凹部に両者を非接触状態に保ったままはめる。高圧反応ガス供給装置Rより、高圧反応ガス供給経路1を通じて高圧ガス供給スリット20より高圧反応ガスを噴出させることにより、高圧反応ガスと反応容器C内の気体雰囲気との差圧により、高圧浮上電極H3を被加工物Jに対して微小間隔Dだけ浮上させる。

【0242】従って凹状被加工物固定用試料台T2及び被加工物Jと高圧浮上電極H3の被加工物対向部分28は非接触を保つ。更に凹状被加工物固定用試料台T2の内側凹部側面63と内側凹部側面63に対向する高圧浮上電極H3の側面62とは高精度に平坦化されている。

【0243】更に凹状被加工物固定用試料台T2の幅Q2は、高圧浮上電極H3の幅Q1より僅かに大きく、図示しない高圧気体供給装置より高圧気体供給経路26を通じて高圧気体供給口25より高圧気体を噴出させることにより、凹状被加工物固定用試料台T2の内側凹部側面63と内側凹部側面63に対向する高圧浮上電極H3の側面62とは非接触を保ち、更に高圧浮上電極H3の運動方向を一定方向に限定するのである。

【0244】つまり、導波管を電力伝送線路として用いた電極浮上型高圧浮上電極H3の浮上方法については、電力伝送線路として電極内導波管22を採用しただけである為、その浮上方式は前述した電極浮上型高圧浮上電極H1と同じく、高圧反応ガス供給スリット20より供

給された反応ガス的高圧力P0と、排気装置Eによって排気された反応容器C内の低圧若しくは真空雰囲気圧力P1との差圧によって微小間隔Dだけ浮上するのである。

【0245】高圧反応ガス供給口をスリット状にし、更に供給スリット20及び反応生成物排気口4を互いに平行関係になる様設置する事により、供給スリット20から反応ガス排気口4へ向かう高圧反応ガスの流れにおいて、スリット20の長手方向の流速分布を均一化させる事ができる。流速分布を均一化させる事により、導波管開放端24に発生する局所領域プラズマPにおける加工速度分布を均一化させる事が出来るのである。

【0246】(③上記高圧浮上電極H3の加工方式)次に電極浮上型高圧浮上電極H3の加工方式について図16、17、18A、および18Bに基づいて述べる。

【0247】マイクロ波電源G1より発生したマイクロ波電力は、共振・整合装置Mとフレキシブル導波管21、更に電極内導波管22を通じて高圧浮上電極H3の被加工物対向部28に設けられた導波管開放端24に達する。

【0248】導波管開放端24に達したマイクロ波電力は、高圧浮上電極H3と被加工物Jとの間の微小間隔D中の高圧反応ガスに向かって放射され、高圧反応ガスは解離し、反応ガスに基づく局所領域プラズマPを発生させるのである。

【0249】更に、局所領域プラズマP中に発生した反応ガスに基づく活性種と被加工物Jとが化学反応し、被加工物原子が揮発性物質に変化する事によって局所領域プラズマP直下の加工を行う。

【0250】ここで、導波管22の断面形状はマイクロ波電源G1の周波数と、目的とする被加工物Jの加工特性、加工領域とにより決定される。

【0251】更に、高圧反応ガス供給スリット20より供給された反応ガスは、反応容器C内の低圧若しくは真空雰囲気、及び反応ガス排気口4へ、高圧浮上電極H3の浮上によって形成された高圧浮上電極H3と被加工物Jとの間の微小間隔D中を被加工物表面に沿った流れ27となって移動する。

【0252】また、導波管を用いた電力伝送線の導波管開放端24を、被加工物対向部28中で、且つスリット20と反応ガス排気口4とに挟まれ、更に高圧反応ガス供給スリット20より離れた位置に設ける事によつ *

各荷電粒子の振動振幅L

	He ⁺	Ar ⁺	F ⁺
50kHz	242.8[m]	24.28[m]	51.1[m]
1MHz	0.607[m]	0.0607[m]	0.128[m]
13.56MHz	3302[μm]	330[μm]	696[μm]
100MHz	60.7[μm]	6.07[μm]	12.8[μm]
1GHz	0.607[μm]	0.0607[μm]	0.128[μm]
2.45GHz	0.101[μm]	0.0101[μm]	0.0218[μm]

【0260】表2は、最大電界強度E0、周波数fで周期的に変化する振動電界 $E = E_0 \sin(2\pi ft)$

*て、高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れの中の局所領域プラズマPを実現する。このため、図7を用いて説明した被加工物浮上型高圧浮上電極H1の平坦化効果と同様に、被加工物Jの表面を平坦化することができるのである。

【0253】(④導波管を電力伝送線路に用いる事の効果)ここで、前述した高圧浮上電極H1及びH2のような内側電極5と外側電極6とを用いて電力伝送線路を構成する実施の形態においては、電源Gにマイクロ波電源G1のみでなく、直流からマイクロ波電源まで、全ての周波数を用いることができる。

【0254】しかし、内側電極5と外側電極6との間を絶縁し、また内側電極5と外側電極6とによって囲まれる電力伝送部分と上記電極-被加工物間の微小間隔D中の反応ガス雰囲気との分離を行う為の絶縁体11は、内側電極外径および外側電極内径に対して隙間なく取り付けられていることが必要である。その場合、発生した局所領域プラズマPから発生する熱によって内側電極5及び外側電極6が熱変形し、特に内側電極5の熱膨張によって絶縁体11の破損を引き起こすおそれ存在する。

【0255】従って、外側電極6と内側電極5との冷却を行うが、この様な構造体である高圧浮上電極H1、H2を製作し、更に高圧浮上電極H1、H2の全体を均等に冷却する機構を設ける事は非常に困難である。

【0256】しかし、実施の形態3においては、電力伝送線路に導波管を用いることにより、電圧印可する内側電極5と、電界を閉じ込める外側電力の6との区別がないので、マイクロ波を伝播させる場合において、高圧浮上電極内部の電力伝送線路製作を容易にし、また、電極内冷却経路製作を容易にする。

【0257】更に金属構造体が絶縁体23を取り組む構造となる為、金属の熱膨張係数と絶縁体の熱膨張係数では金属の熱膨張係数の方が一般的に大きい事から上記金属構造体の熱膨張による絶縁体23の破損が起こりにくいのである。

【0258】(⑤上記電源Gにマイクロ波電源を用いる事の効果)また、電源Gにマイクロ波電源G1を用いる事により、得られる効果について図19及び表2に基づいて説明する。

【0259】

【表2】

(但しtは時間)中において、真空中で、各種荷電粒子(電荷量e、質量m)が振動電界E中で振動する時の振

41

動振幅 $L = (eE_0 / 4m\pi^2 f^2)$ の値を示した表であり、また、図 19 は、上記荷電粒子の上記振動電界による振動振幅 L を示す概念図である。

【0261】図中の 29 は、荷電粒子である。表 2 に示されるように、振動振幅 L は、周波数 f を向上させるに従って小さくなる。

【0262】微小間隔 D は $1\mu m$ から数百 μm 程度の狭ギャップである為、局所領域プラズマ P を発生させる電源 G に、周波数が高々 $1MHz$ である高周波電源を用いる場合、振動振幅 L は He イオンで $0.607[m]$ となり、非常に大きくなる。このため、荷電粒子を上記狭ギャップ中に捕捉する事が出来ず、荷電粒子が被加工物表面に衝突し、被加工物表面に損傷を与えることになる。

【0263】しかし、電極—被加工物の微小間隔 D が数百 μm 程度の時、局所領域プラズマ P を発生させる電源に、最低 $10MHz$ 以上の高周波を用い、また微小間隔 D が数十 μm 程度の時、周波数 $1GHz$ 以上のマイクロ波を用いる事により、上記荷電粒子を上記電極—被加工物間の微小間隔 D 中に捕捉する事が出来、被加工物表面に損傷を与えない低損傷な加工を実現する事が出来るのである。

【0264】図 17 に示されるように、被加工物 J と高圧浮上電極 $H3$ との相対的な移動は、凹状被加工物固定用試料台 $T2$ の内側底部に被加工物 J を被加工物固定部 F によって固定し、また前述したように凹状被加工物固定用試料台 $T2$ の内側側面 63 に設置された高圧気体供給口 25 より噴出した高圧気体によりエアスライド的に摺導部を用いる事無く非接触に高圧浮上電極 $H3$ の走査方向を被加工物 J に水平な方向のみに限定し、更に被加工物 J に水平な方向の走査は高圧浮上電極 $H3$ に接続された走査ワイヤー若しくはベルト 9 を図示しない駆動モーター 10 に接続し上記駆動モーターを回転させる事によって行うのである。

【0265】また、高圧気体供給口 25 より噴出させる高圧気体は被加工物 J の加工に用いる高圧反応ガスに限定せず、絶縁性の高いガス、また、希ガス、また空気等、目的に応じて変化させる。

【0266】（実施の形態 4）次に図 20A、20B、および 20C に基づいて説明する。図 20A は、導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極の断面図である。図 20B は、導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極の正面図である。図 20C は、導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極の上面図である。

【0267】また図中、 $H4$ は、導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極である。30 は、突起のついた浮上被加工物送りベルトである。31 は、送りベルトの突起である。32 は、浮上被加工物送りモーターである。

42

【0268】電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ は、上記導波管によってマイクロ波を伝達し、被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ の被加工物対向部に設けられた導波管開放端 24 において局所高圧プラズマ P を発生させる。局所高圧プラズマ P は、微小間隔 D 中に供給された高圧反応ガスを分解し、高圧反応ガスに基づく活性種を発生し、被加工物原子と化学反応させ、揮発性物質に変化させることによって浮上被加工物 A の加工を行う。

【0269】更に被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ と被加工物 A との間の微小間隔 D 中の高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れによる表面平坦化効果により、浮上被加工物 A の平坦化及び平滑化を行うものである。

【0270】被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ によれば、被加工物浮上型高圧浮上電極 $H2$ と同様に、電極浮上型高圧浮上電極 $H1$ 及び図 14 の被加工物浮上型高圧浮上電極における被加工物 J 及び A のチャッキング時間を省略する事が出来、流れ作業的に加工、被加工物搬送を行う事により、プロセスの生産性を更に向上させる事が出来る。

【0271】導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ を用いた加工装置において、図 20A、20B、図 20C 中に図示しない加工装置全体の構成、上記浮上被加工物の浮上原理、プラズマ発生方式、局所プラズマ中における加工現象、および高加工速度及び被加工物の加工表面の清浄化を同時に実現する原理及び方式については、前述した電極浮上型高圧浮上電極 $H1$ と同様に、被加工物浮上型高圧浮上電極 $H4$ に対して適用できる。

【0272】また、図示しないが、図 14 のように被加工物固定用試料台に上記被加工物を固定し、被加工物固定用試料台と共に被加工物を浮上させる方式を実施する事も可能である。

【0273】また浮上加工物の走査は、図 20C に示すような両端を浮上被加工物送りモーター 32 によって拘束・回転される突起のついた浮上被加工物送りベルト 30 によって、突起部分 31 で被加工物を固定し、両端のモーター 32 を回転させる事によって被加工物を一定方向に送る若しくは往復走査させる機構を用いる事も出来る。

【0274】（実施の形態 5）図 21 に基づいて本発明の実施の形態 5 について説明する。図 21 は、被加工物仕上げ形状が球面である被加工物の表面平滑化、及び形状加工を行なう高圧浮上電極の部分断面図である。

【0275】図 21 中、 $H5$ は、被加工物対向部に球面形状をもつ高圧浮上電極である。 $T3$ は、球面被加工物固定用試料台である。 B は、被加工物仕上げ面形状が球面である被加工物である。 60 は、球面被加工物固定用試料台 $T3$ の電極対向面である。 61 は、高圧浮上電極 $H5$ の被加工物対向部分である。

【0276】被加工物仕上げ面形状が球面である被加工物Bの表面平滑化、及び形状加工を行なう場合、球面被加工物固定用試料台T3の電極対向面60を球面とし、その半径を被加工物の仕上げ面形状の球面半径に一致させ、被加工物Bの加工球面が被加工物固定用試料台T3の電極対向面60の球面に段差なく重なる様設置する。

【0277】一方、高圧浮上電極H5の被加工物対向部分61の形状を同じく球状としその半径を被加工物Bの球面半径と同じ若しくはそれ以上とする。高圧浮上電極H5の被加工物対向部分61と被加工物Bの球面を対向させ、多孔質材料19を用いた高圧反応ガス供給口より供給した高圧反応ガスと上記反応容器内の低圧及び真空雰囲気との差圧により高圧浮上電極H5を被加工物Bの表面より、微小間隔Dだけ浮上させるのである。

【0278】また図示しないが、同様に高圧反応ガス供給口より供給した高圧反応ガスと上記反応容器内の低圧及び真空雰囲気との差圧により被加工物Bを高圧浮上電極H5より、微小間隔Dだけ浮上させる事も可能である。

【0279】またプラズマの発生は、高圧浮上電極H1と同様に高圧浮上電極H5の被加工物対向面に設置した電力伝送線路開放端7に図示しない電源Gより発生した直流もしくは交流電圧を伝達し、上記高圧反応ガスの供給された高圧浮上電極H5と被加工物Bとの間の微小間隔Dに強電界を発生させる事によって局所領域プラズマPを発生させ、上記反応ガスに基づく活性種によって被加工物Bの加工を行なうのである。

【0280】図21の実施の形態5においては、電力伝送線路は内側電極5、外側電極6によって構成される電力伝送線路によって、電源Gより発生した直流若しくは交流を上記電力伝送線路開放端7については局所領域プラズマPまで伝達している例を説明したが、本発明はこれに限定されない。電源Gがマイクロ波電源である場合は、前述した図16のように、導波管を用いてマイクロ波を伝達させ、図18A中の被加工物対向部分28を高圧浮上電極H5の被加工物対向部分61に示されるような球面とし、同様に被加工物と対向する部分に設置した導波管開放端に強電界を発生させ、局所領域プラズマPを発生させ、球面被加工物Bを加工する方式を行なう事も可能である。

【0281】さらに、電極浮上型高圧浮上電極H1、被加工物浮上型高圧浮上電極H2、H3、導波管をマイクロ波伝送線路として用いた高圧浮上電極H4で示した上記高圧反応ガス供給口形状及び位置、上記反応生成物排気口形状及び位置、上記マイクロ波開放端形状及び位置、上記高圧浮上電極形状及び被加工物対向部耐蝕・高硬度絶縁膜形成及び被加工物対向部耐蝕・高硬度絶縁材料設置、上記被加工物固定用試料台、および上記被加工物固定部等は、被加工物仕上げ面形状が球面である場合の高圧浮上電極H5にも適用する事が出来る。

【0282】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、反応容器内に電力を印加する加工用電極を被加工物と対向させて配置し、電力を印加しプラズマを発生させ、プラズマ発生部のみを高圧力に維持する事により、被加工物表面を高効率に加工することができる。

【0283】また本発明によれば、同時に反応容器内部を少なくともプラズマ発生部より低圧に、若しくは真空に維持する事により、反応生成物が凝縮、被加工物表面に再付着する事なく清浄に加工することができる。

【0284】さらに本発明によれば、プラズマ発生領域を加工用電極-被加工物間隔の反応ガス供給口近傍の反応ガス噴出する領域外の領域であって、反応ガスの被加工物表面に沿った流れが形成される領域中のみに限定する事により、加工後の研磨ピッチを形成する事なく、更にエッチバック平坦化法に用いられるようなレジスト膜を用いることなく、被加工物の表面の微小凸部をプラズマを用いたドライプロセスによって平滑化、平坦化することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の加工装置の全体概念図である。

【図2】電極浮上型高圧浮上電極H1の断面図である。

【図3】電極浮上型高圧浮上電極H1の被加工物対向部分を表した下方斜面図である。

【図4】被加工物Jと被加工物固定用試料台Tの段差tを示す部分断面図である。

【図5】電極浮上型高圧浮上電極H1-被加工物J間の微小間隔D中の高圧反応ガスの圧力分布を示す模式図である。

【図6】電極浮上型高圧浮上電極H1の被加工物Jと対向する部分に設けられた電力伝送線路開放端における局所領域プラズマPの発生を示す概略図である。

【図7】局所領域プラズマP中の高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れによる平坦化効果を示す概念図である。

【図8A】高圧反応ガス供給口を含む近傍に上記局所領域プラズマPを発生させる場合に上記供給口直下に形成される加工量分布を示す断面図である。

【図8B】高圧反応ガス供給口から離れた位置に上記電力伝送線路開放端を設置し、上記局所領域プラズマPを発生させる場合に上記局所領域プラズマP直下に形成される加工量分布を示す断面図である。

【図9】高精度平坦化耐蝕・高硬度絶縁体を被加工物対向部分に用いた電極浮上型高圧浮上電極の断面図である。

【図10】高圧反応ガス供給口に多孔質材料を用いた電極浮上型高圧浮上電極の断面図である。

【図11】被加工物固定用試料台Tに高圧反応ガス供給口を設置した電極浮上型高圧浮上電極の断面図である。

【図12】多回転軸、回転数をもつ被加工物固定用試料

台T100Dを用いたパッチ処理を示す概略図である。

【図13】被加工物浮上型高圧浮上電極H2の概略断面図である。

【図14】被加工物固定用試料台Tに高圧反応ガス供給口を設置した被加工物浮上型高圧浮上電極H2Aの断面図である。

【図15】被加工物のみを浮上させた被加工物浮上型高圧浮上電極H2の概略断面図である。

【図16】導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3の断面図である。

【図17】導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3を別の方向より見た部分断面図である。

【図18A】導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3自体の下方斜面図である。

【図18B】導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極H3自体の上方斜面図である。

【図19】荷電粒子の振動電界による振動振幅 λ を示す概念図である。

【図20A】導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極H4の断面図である。

【図20B】導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極H4の正面図である。

【図20C】導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極H4の上面図である。

【図21】被加工物仕上げ形状が球面である被加工物の表面平滑化、及び形状加工を行う高圧浮上電極H5の部分断面図である。

【図22A】CVMを用いた従来技術の第1例の断面図である。

【図22B】CVMを用いた従来技術の第2例の断面図である。

【図23】反応ガス噴出口直下に形成され则认为られる加工痕の断面図である。

【図24】加工後表面に付着した大粒径パーティクルによるその後の成膜後の非成膜部分を示す斜方図である。

【図25A】円板H0による低コンダクタンスな気体流路の形成を示す概略図である。

【図25B】円板H0と被加工物Jとの間に円筒座標軸を設定した図である。

【符号の説明】

- A 浮上被加工物
- B 被加工物仕上げ面形状が球面である被加工物
- C 反応容器
- C0 気体流路のコンダクタンス
- D 微小間隔
- E0 積分定数
- E 排気装置
- F 被加工物固定部
- F0 積分定数
- G 電源

- G1 マイクロ波電源
- H0 円板
- H1 電極浮上型高圧浮上電極
- H1A 高精度平坦化耐蝕・高硬度絶縁体を被加工物対向部分に用いた電極浮上型高圧浮上電極
- H1B 多孔質材料を高圧反応ガス供給口に用いた電極浮上型高圧浮上電極
- H1C 被加工物固定用試料台Tに高圧反応ガス供給口を設置した電極浮上型高圧浮上電極
- H2 被加工物浮上型高圧浮上電極
- H3 導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極
- H4 導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型高圧浮上電極
- H5 被加工物対向部に球面形状を持つ高圧浮上電極
- I フレキシブル電力伝送線路
- J 被加工物
- K 電力伝送線路
- L 荷電粒子の振動電界による振動振幅
- m 気体の分子量
- M 共振・整合装置
- N 制御装置
- P0 高圧反応ガス供給口部の圧力
- p 円板H0-被加工物J間の圧力分布
- P 局所領域高圧プラズマ
- p0 円板H0周囲の気体圧力
- ps 円板H0へ供給する高圧気体の圧力
- O 座標系の原点
- P1 反応容器内の気体圧力
- P2 反応ガス排気口部の圧力
- Q1 高圧浮上電極H3の幅
- Q2 凹状被加工物固定用試料台T2の幅
- r 円筒座標系のr軸
- R0 気体定数
- R 高圧反応ガス供給装置
- R1 円板H0の内半径
- R2 円板H0の外半径
- S 走査ステージ
- T0 絶対温度
- T 被加工物固定用試料台
- T1 円板H0の厚さ
- T100D 被加工物多数固定用試料台
- T2 凹状被加工物固定用試料台
- T3 球面被加工物固定用試料台
- t 被加工物Jと被加工物固定用試料台Tの段差
- t0 円板H0-被加工物J間のギャップ
- U 高圧浮上電極走査装置
- vr 円板H0-被加工物J間のr方向の流速
- w 円板H0-被加工物J間を流れる気体の重量流量
- X1 高圧反応ガスに基づく活性種

X 2 被加工物原子
 Y 浮上被加工物走査ワイヤー
 Y 1 浮上被加工物拘束走査機構
 z 円筒座標系の z 軸
 θ 0 円筒座標系の回転角
 θ 被加工物固定用試料台 T の持つ回転機構
 θ 1 被加工物多数固定用試料台 T 1 0 0 D の持つ回転機構
 μ 気体の粘性係数
 ρ 気体の密度
 1 高圧反応ガス供給経路
 1 B バッファ部
 2 高圧力反応ガス供給口
 3 反応生成物排気経路
 4 反応ガス排気口
 5 内側電極
 6 外側電極
 7 電力伝送線路開放端
 8 コネクタ
 9 走査ワイヤー若しくはベルト
 10 駆動モーター
 11 絶縁体
 12 電極浮上型高圧浮上電極 H 1 の被加工物対向部分
 13 高圧反応ガスの被加工物表面に沿った流れ
 14 被加工物表面の微小凸部
 15 被加工物表面の微小凹部
 16 A 高圧反応ガス噴出口 2 から噴出する高圧反応ガス噴出流
 16 B 微小間隔 D 中で、被加工物表面に沿う流れとなった高圧反応ガス流
 17 A 高圧反応ガス噴出口 2 を含む近傍に上記局所領域プラズマを発生させる場合に上記噴出口直下に形成される加工量分布
 17 B 高圧反応ガス供給口から離れた位置に上記電力伝送線路開放端 7 を設置し、上記局所領域プラズマ P を発生させる場合に上記局所領域プラズマ P 直下に形成される加工量分布
 18 高精度平坦化耐蝕・高硬度絶縁体
 19 多孔質金属若しくは多孔質絶縁体材料
 20 高圧反応ガス供給スリット
 21 フレキシブル導波管
 22 電極内導波管
 23 絶縁体
 24 導波管開放端
 25 高圧気体供給口
 26 高圧気体供給経路
 27 被加工物の表面に沿った流れ
 28 導波管を電力伝送線路に用いた電極浮上型高圧浮上電極 H 3 の被加工物対向部分
 29 荷電粒子

30 突起のついた浮上被加工物送りベルト
 31 送りベルトの突起
 32 浮上被加工物送りモーター
 41 加工用電極
 42 被加工物
 42 S 被加工物表面
 43 高周波電力供給装置
 44 反応容器
 45 反応ガス供給手段
 10 46 反応ガス排出手段
 47 被加工物走査試料台
 48 A 反応ガス噴出口 A
 48 B 反応ガス噴出口 B
 49 A 局所領域プラズマ A
 49 B 局所領域プラズマ B
 50 反応ガス噴出流
 51 絶縁体
 52 外部電極
 53 内部電極
 20 54 加工量分布
 55 大粒径雰囲気気パーティクル
 56 成膜
 57 被加工物の加工後表面
 58 雰囲気気パーティクル上に成膜された膜
 60 球面被加工物固定用試料台 T 3 の電極対向面
 61 高圧浮上電極 H 5 の被加工物対向部分
 62 高圧浮上電極 H 3 の側面
 63 凹状被加工物固定用試料台 T 2 の内側凹部側面
 100 電極浮上型高圧浮上電極 H 1 を用いた超精密加工装置
 30 100 A 高精度平坦化耐蝕・高硬度絶縁体を被加工物対向部分に用いた電極浮上型高圧浮上電極 H 1 A を用いた超精密加工装置
 100 B 多孔質材料を高圧反応ガス供給口に用いた電極浮上型高圧浮上電極 H 1 B を用いた超精密加工装置
 100 C 被加工物固定用試料台に高圧反応ガス供給口を設置した電極浮上型高圧浮上電極 H 1 C を用いた超精密加工装置
 100 D 被加工物多数固定用試料台 T 1 0 0 D を用いたバッチ処理を行う超精密加工装置
 40 101 高圧気体供給路
 200 被加工物浮上型高圧浮上電極 H 2 を用いた超精密加工装置
 200 A 被加工物固定用試料台に高圧反応ガス供給口を設置した被加工物浮上型高圧浮上電極 H 2 A を用いた超精密加工装置
 200 B 浮上被加工物 A のみを浮上させる超精密加工装置
 300 導波管を電力伝送線路に用いた高圧浮上電極 H 3 を用いた超精密加工装置
 50

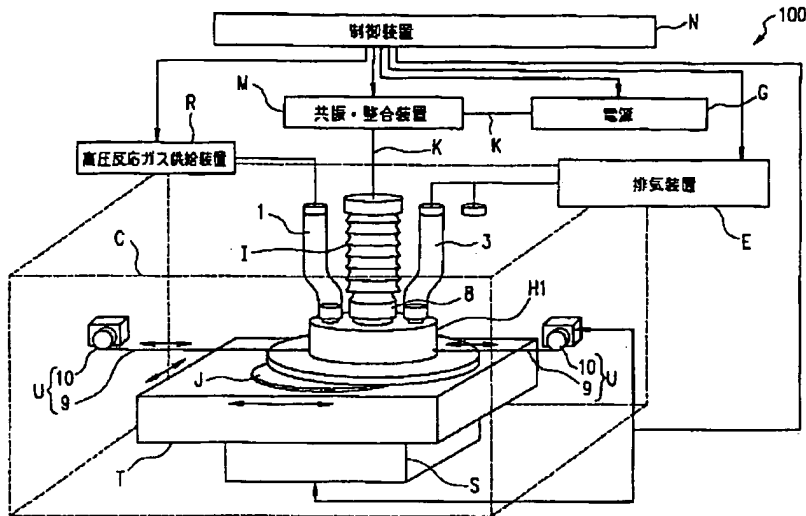
49

50

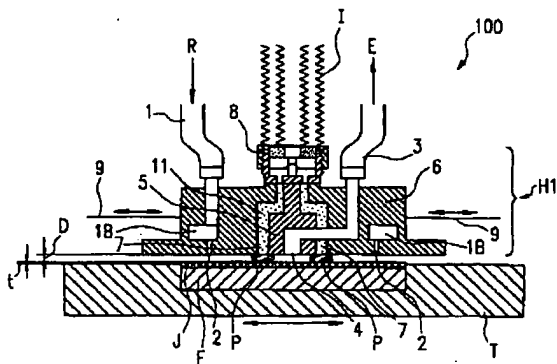
400 導波管を電力伝送線路に用いた被加工物浮上型
 高压浮上電極H4を用いた超精密加工装置
 500 被加工物対向部に球面形状を持つ高压浮上電極
 H5を用いた超精密加工装置

H2A 被加工物固定用試料台に高压反応ガス供給口を
 設置した被加工物浮上型高压浮上電極
 2200A プラズマCVMによる超精密加工装置
 2200B プラズマCVMによる超精密加工装置

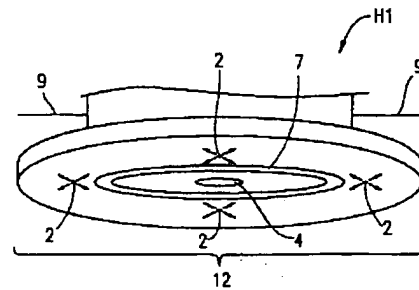
【図1】



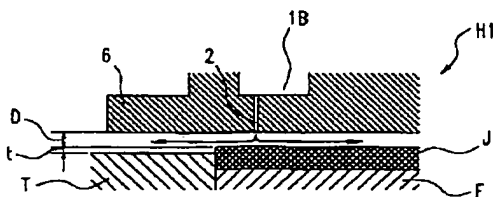
【図2】



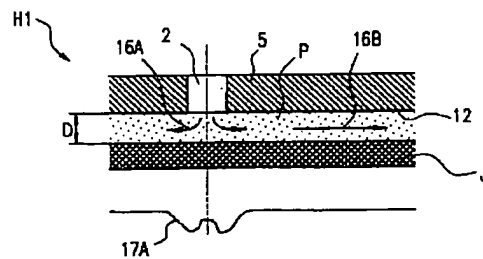
【図3】



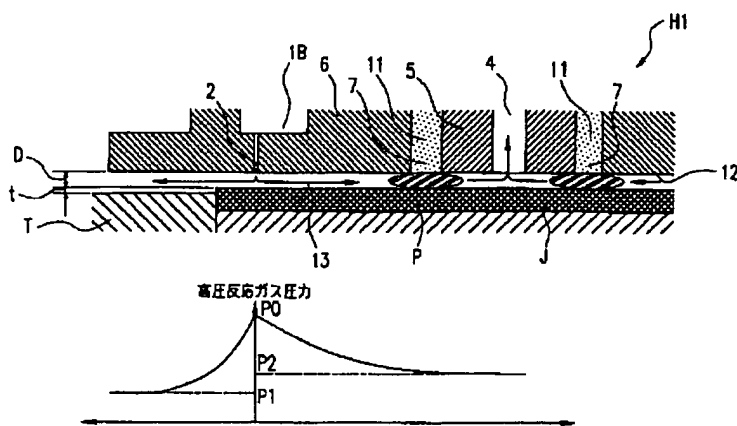
【図4】



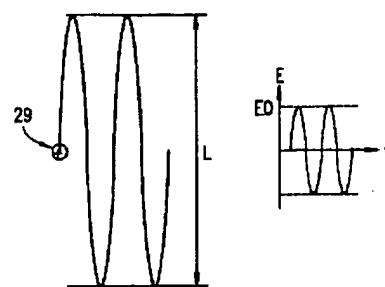
【図8A】



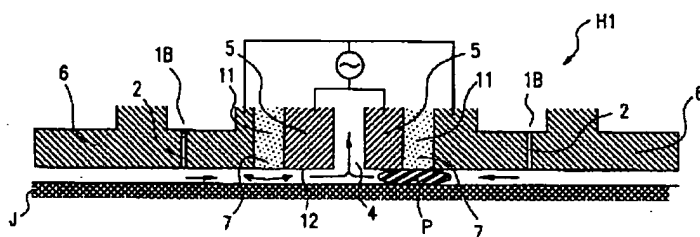
【図5】



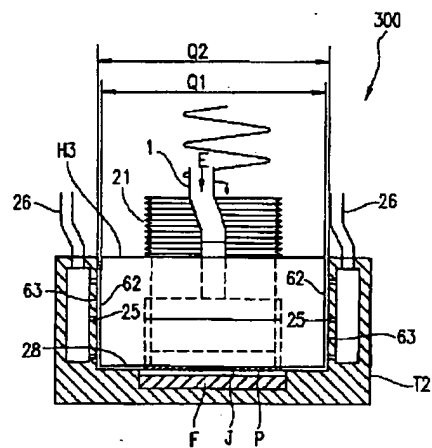
【図 19】



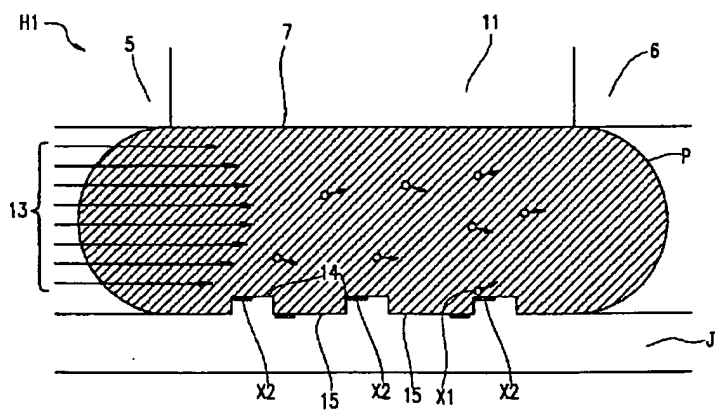
【図 6】



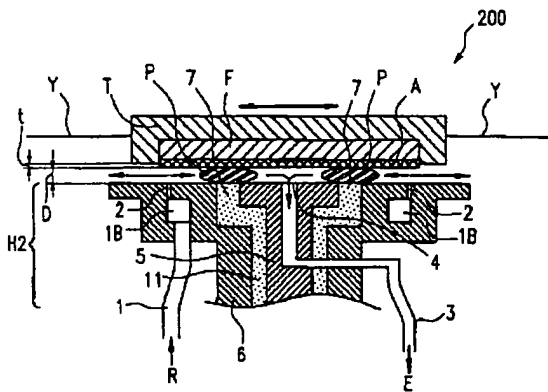
【图 17】



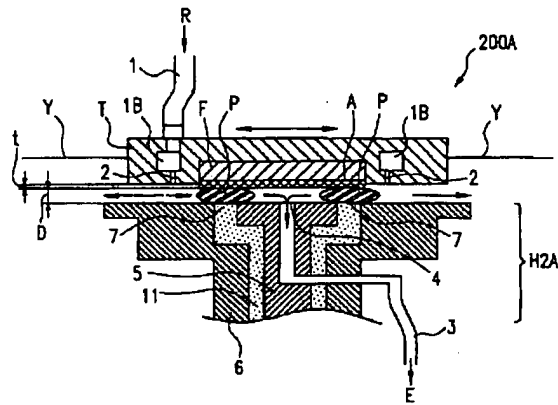
【図 7】



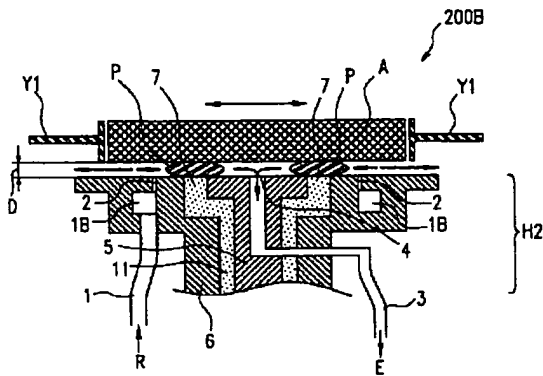
【图 13】



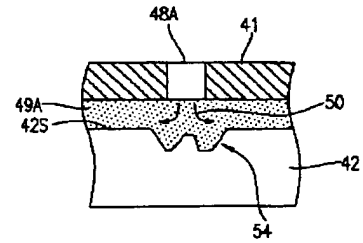
【図 14】



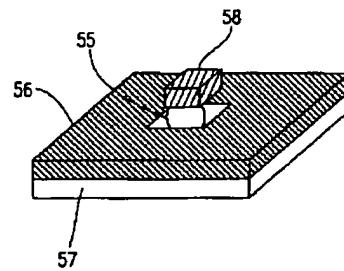
【図 15】



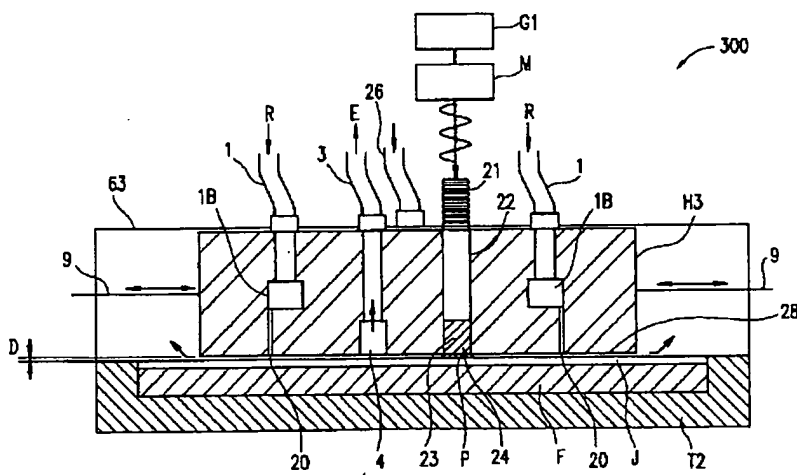
【图 23】



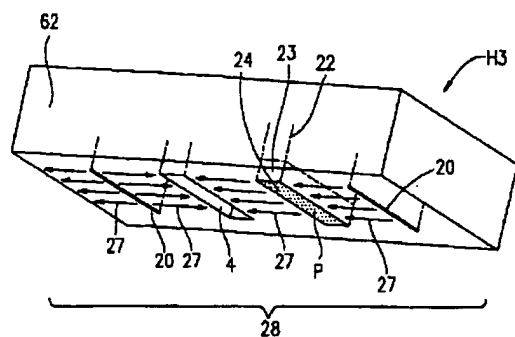
【図 24】



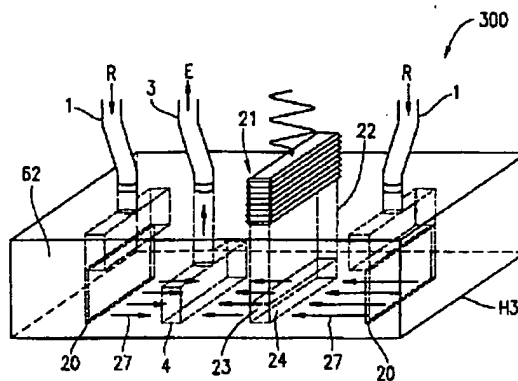
【图 16】



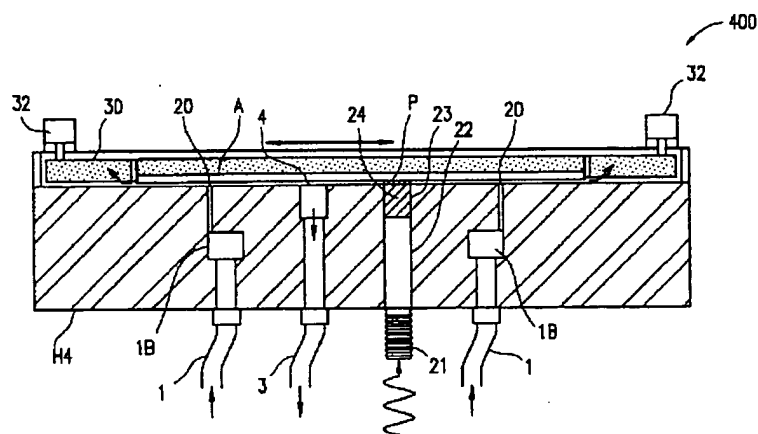
【図18A】



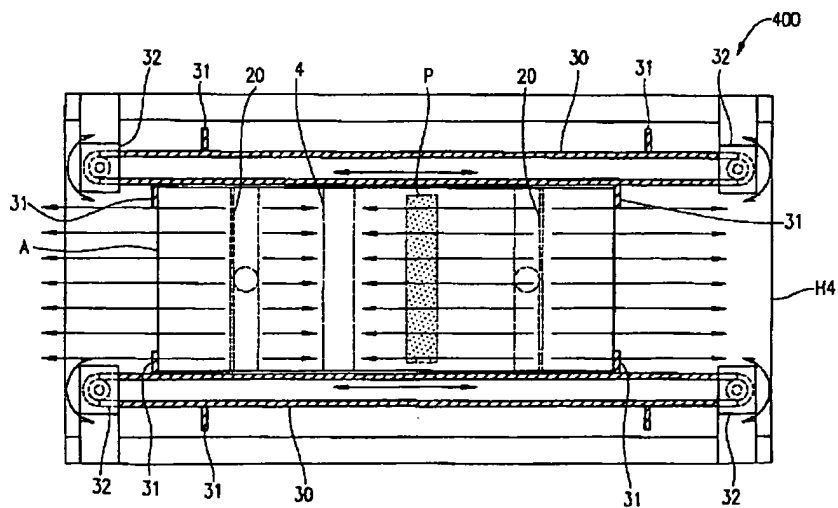
【図18B】



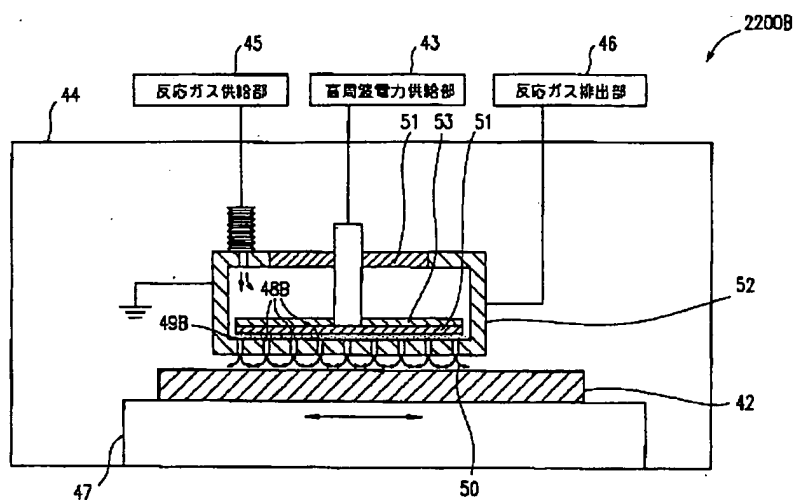
【図20A】



【図20C】



【図22B】



フロントページの続き

(72)発明者 奥田 徹
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
 ャープ株式会社内
 (72)発明者 森 勇▲蔵▼
 大阪府交野市私市8丁目16番19号

Fターム(参考) 4K057 DA04 DA20 DB08 DB20 DD01
 DE06 DE14 DG12 DM08 DM29
 DM40 DN01
 5F004 AA11 BA20 BB11 BB13 BB14
 BB18 BB28 BD07 DA00 DA22
 DB00 DB01 DB08 DB10 EB02